

ЗЕМЛЯ И

№1 (354)

ЯНВАРЬ-ФЕВРАЛЬ, 2024

астрономия
геофизика
космонавтика

ВСЕЛЕННАЯ

ISSN 0044-3948



**Приливные
взаимодействия
в Солнечной системе**

**Исследование планет-
гигантов межпланетными
космическими аппаратами**

Марс подает признаки жизни

ЭКЗОПЛАНЕТЫ В ГАЛАКТИКЕ

КАКИМ МОЖЕТ БЫТЬ ПЕРВЫЙ КРЫЛАТЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬ КРАСНОЙ ПЛАНЕТЫ?



НАУКА
— 1727 —

**ПОДПИШИТЕСЬ НА ЖУРНАЛЫ
ИЗДАТЕЛЬСТВА «НАУКА»**

печатные и электронные версии

В ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИНЕ NAUKABOOKS.RU

- ⇒ Зайдите на сайт.
- ⇒ Выберите журнал.
- ⇒ Укажите контактные данные получателя.
- ⇒ Оплатите заказ онлайн.

Отдельные номера журналов можно купить
в магазине «Академкнига» по адресу:
г. Москва, Шубинский пер., д. 6, стр. 1.

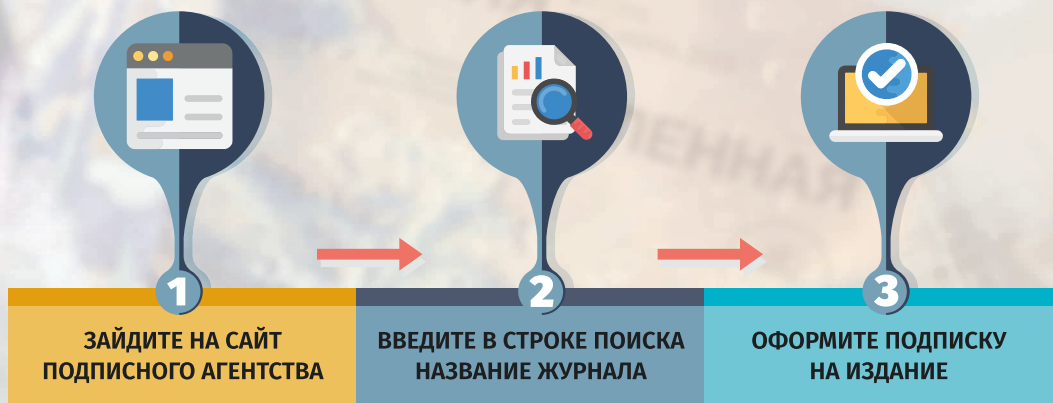


ПО E-MAIL И ТЕЛЕФОНУ

journals@naukapublishers.ru или +7(495) 276-77-35

Сообщите, на какие журналы вы хотите подписаться, а также
свои контактные данные. Менеджер поможет оформить подписку.

ЧЕРЕЗ ПОДПИСНЫЕ АГЕНТСТВА



Почта России podpiska.pochta.ru
Урал-Пресс ural-press.ru
Пресса России pressa-rf.ru
ПрессИнформ presskiosk.ru
Ивис ivis.ru **НЭБ** elibrary.ru

На странице журнала
размещена информация
о его стоимости и условиях
доставки

Обязательно проверьте,
что правильно указали
контактные данные
получателя

ЗЕМЛЯ И

астрономия
геофизика
космонавтика

№1 (355)
ЯНВАРЬ-ФЕВРАЛЬ, 2024

ISSN 0044-3948

ВСЕЛЕННАЯ

Научно-популярный журнал
Российской академии наук
Издается под руководством
Президиума РАН
Выходит с января 1965 года
6 раз в год
«Наука»
Москва

В НОМЕРЕ:

Колонка главного редактора	3
ГУДКОВА Т.В. Приливные взаимодействия в Солнечной системе	6
ПЕТРУХИН А.А. Исследование планет-гигантов межпланетными космическими аппаратами	25
ГОВОРОВА А.Ф. Марс подает признаки жизни	36
БЕЛЕНЬКАЯ Е.С., АЛЕКСЕЕВ И.И., КАЛЕГАЕВ В.В. Экзопланеты в Галактике	49
КАРПОВИЧ Е.А., КОМБАЕВ Т.Ш., ФОРШТЕР Е.Б. Каким может быть первый крылатый исследователь Красной планеты?	56

Коротко и интересно

На Мимасе обнаружили молодой океан	70
Телескоп ALMA увидел в протопланетном диске огромную массу воды	71

Литературный космос

ФЕЛЬДМАН Д.Ю. Современник будущего	73
ЗАКУТНЯЯ О.В. Советский фантаст Александр Беляев	98
Table of Content	109

На обложке:

Дюны в марсианском
кратере Лио, съемка КА Mars
Reconnaissance Orbiter (NASA).
Изображение:
NASA/JPL-Caltech/Univ. of Arizona

© Российская академия наук, 2024
© Редколлегия журнала «Земля и Вселенная» (составитель), 2024
© ФГБУ «Издательство «Наука», 2024

Earth&Universe: Astronomy, Geophysics, Cosmonautics
Bimonthly popular scientific magazine of the Russian Academy of Sciences & NAUKA Publishing.
Founded 1965.
Published by NAUKA Publishing, Profsoyuznaya Str., 90, 117997, Moscow, Russia.

Редакционная коллегия:

главный редактор
академик Л.М. ЗЕЛЕНЬИЙ,
летчик-космонавт
П.В. ВИНОГРАДОВ,
зам. главного редактора
кандидат филолог. наук
О.В. ЗАКУТНЯЯ,
доктор исторических наук
К.В. ИВАНОВ,
летчик-космонавт
А.Ю. КАЛЕРИ,
кандидат физ.-мат. наук
О.Ю. ЛАВРОВА,
член-корр. РАН
А.А. ЛУТОВИНОВ,
зам. главного редактора
доктор физ.-мат. наук
О.Ю. МАЛКОВ,
доктор физ.-мат. наук
И.Г. МИТРОФАНОВ,
академик И.И. МОХОВ,
член-корр. РАН
И.Д. НОВИКОВ,
член-корр. РАН
К.А. ПОСТНОВ,
доктор физ.-мат. наук
М.В. РОДКИН,
научный директор
Московского планетария
Ф.Б. РУБЛЕВА,
член-корр. РАН
А.Л. СОБИСЕВИЧ,
член-корр. РАН
О.Н. СОЛОМИНА,
академик В.А. СОЛОВЬЕВ,
академик
А.М. ЧЕРЕПАЩУК,
доктор физ.-мат. наук
В.В. ШЕВЧЕНКО,
член-корр. РАН
Б.М. ШУСТОВ

Editorial Board:

Editor-in-chief
Acad. Dr. Lev M. ZELENYI
Acad. Dr. Anatoly M. CHEREPASCHUK
Dr. Konstantin V. IVANOV
Pilot-cosmonaut Alexander Yu. KALERI
Dr. Olga Yu. LAVROVA
RAS Corr. Member Dr. Alexander A. LUTOVINOV
Deputy Editor-in-chief
Dr. Oleg Yu. MALKOV
Dr. Igor G. MITROFANOV
Acad. Dr. Igor I. MOKHOV
RAS Corr. Member Dr. Igor D. NOVIKOV
RAS Corr. Member Dr. Konstantin A. POSTNOV
Dr. Mikhail V. RODKIN
Faina B. RUBLEVA
Dr. Vladislav V. SHEVCHENKO
RAS Corr. Member Dr. Boris M. SHUSTOV
RAS Corr. Member Dr. Alexey L. SOBISEVICH
RAS Corr. Member Dr. Olga N. SOLOMINA
RAS Corr. Member Dr. Vladimir A. SOLOVYEV
Pilot-cosmonaut Pavel V. VINOGRADOV
Deputy Editor-in-chief
Dr. Olga V. ZAKUTNYAYA

Колонка главного редактора

Дорогие читатели, коллеги, друзья!

Фантасты назвали бы это «складкой времени» – так уж сложилось, что эту авторскую колонку к первому номеру я пишу в апреле. Издательские процессы в издательстве «Наука» осложнились в связи с происходящей реорганизацией (как правильно ворчали китайские мудрецы, «тяжело жить в эпоху перемен»), и я приношу извинения читателям за эту задержку.

Но нет худа без добра. Апрель традиционно «богат» на космические события, так что я могу коротко рассказать о них.

Главной новостью, вспучившей Интернет, стало заявление вице-премьера России Дениса Мантурова о начале финансирования программы сверхтяжелых ракет-носителей (включая системы с возвращаемыми ступенями) в размере 600 млрд рублей (по предварительным оценкам). Это важнейший шаг на пути участия России в начавшемся сейчас бурном освоении Луны как консорциумами различных государств, так и отдельными странами. Недавно на долгой пересадке в Стамбульском аэропорту я узнал, что и Турция предлагает свою небольшую, но вполне достойную лунную программу. Освоение, естественно, предполагает участие человека, так что появляется уверенность, что пилотируемый сегмент отечественной лунной программы обязательно будет развернут на Луне к середине 2030-х гг. Действительно, невозможно себе представить лунную гонку XXI века, – а она уже началась, – без участия России. Надеюсь, и редколлегия, и читатели журнала доживут до той прекрасной поры, когда отечественные роботы и космонавты будут «бороздить просторы» нашего естественного спутника.



Но дорога до Луны предстоит долгая, а пока Международная космическая станция, несмотря на участвовавшие технические проблемы, остается главной платформой для научных исследований в космосе.

Совсем недавно на МКС побывал первый космонавт суверенной Беларуси Марина Василевская. Экспедиция была успешной, хотя ее старт был трудным и мы все успели изрядно поволноваться за международный экипаж. Результаты экспериментов, проведенных Мариной, еще обрабатываются медиками, которые обещали рассказать о них на страницах нашего журнала. Приятно, что повестка российско-белорусского сотрудничества в космосе постоянно расширяется. Надеюсь, в ней вскоре появятся и лунные эксперименты.

Одним из центральных событий празднования Дня космонавтики стал V Международный кинофестиваль фильмов и программ о космосе

«Циолковский». Он проходил в Калуге с 12 по 16 апреля. Опытная команда во главе со знаменитым журналистом и ведущим Игорем Угольниковым сделала этот фестиваль незабываемым событием. Лекции ведущих ученых в музейном планетарии (несколько лекций прочитал другой Угольников – Олег, сотрудник ИКИ РАН и автор нашего журнала), показы исторических фильмов и новых блокбастеров, театральные постановки и другие мероприятия ставили перед участниками фестиваля сложную задачу – как выбрать самое интересное?

Южнокорейский фильм «Луна», показанный на фестивале, был дублирован, и значит, наверняка войдет в российский прокат. Фильм о трагических перипетиях путешествия к Луне и обратно единственного (!) корейского «корейнавта» (вообще, в Корее для обозначения этой профессии используют слово «уджуин») держит зрителей в напряжении покруче, чем знаменитый голливудский «Марсианин» с Мэттом Деймоном. Рекомендую к просмотру!

Интересную программу подготовили архивы: Российский государственный архив научно-технической документации (в этом году ему исполняется полвека) и Российский государственный архив кинофотодокументов в Красногорске. Мне было приятно на несколько часов вернуться в великую советскую эпоху лидерства в космосе и увидеть молодыми своих старших коллег, не так давно, к сожалению, ушедших из жизни, – Михаила Яковлевича Марова и Леонида Васильевича Ксанфомалити.

В заключение несколько слов о содержании лежащего перед Вами журнала. Его открывает прекрасная содержательная статья Тамары Гудковой, рассказывающей о приливных эффек-

тах при взаимодействии тел Солнечной системы друг с другом. Приливы на других планетах интересны не сами по себе – благодаря им мы узнаем о том, как эти тела устроены внутри. А это, в свою очередь, открывает широкие перспективы для изучения уже эволюции планетных систем.

Тамара Васильевна – доктор физико-математических наук, признанный специалист в своей области. А следующая статья, что станет, возможно, неожиданностью для читателей, написана школьником – Андреем Петрухиным, который в этом году заканчивает 11 класс. (Конечно, автором руководил ученый, наш автор Н.В. Емельянов, сотрудник ГАИШ МГУ.) Статья рассказывает об исследованиях планет-гигантов. Читателям судить, насколько удался этот первый опыт, но точно можно сказать: привычное многим представление о том, что популяризация науки – дело возрастное, он опровергает. И это тоже «веяние времени» – сегодня, кроме конкурсов научных работ школьников, все больше появляется конкурсов научно-популярных работ школьников. А это важный шаг на пути формирования исследователя: ему должно быть интересно не только разобраться в вопросе, но и рассказать о своих исследованиях другим.

Следующие две статьи посвящены Марсу, причем обе выдержаны в несколько «фантастическом ключе». Анна Говорова развернет перед вами панораму современных воззрений на (возможную) обитаемость Марса. А в следующей за ней статье – молодежная команда из Московского авиационного института рассказывает о проекте «крылатого исследователя Марса». Тема более чем актуальна. Эксперименты подобного рода уже проводятся американскими (буквально недавно робот-вертолет *Ingenuity*

NASA закончил свою миссию из-за выработки ресурса) и планируются китайскими исследователями. И хотя наши планы в отношении этой планеты пока не очень определены, замечательно, что наши инженеры предлагают новые интересные варианты для будущих миссий. В конце концов, все начинается, как известно, с мечты...

Именно этой мечте о космосе, а вернее, о том человеке, который во многом научил нас мечтать о космосе, – завершающие номер статьи.

Вначале небольшая предыстория. Наши постоянные читатели помнят, что осенью прошлого 2023 г. наш журнал был награжден престижной премией имени Александра Беляева (см. ЗиВ № 6, 2023). 19 марта 2024 г. Александру Беляеву, замечательному советскому фантасту, популяризатору космических идей К.Э. Циолковского, исполнилось бы 140 лет. Мы решили, что это достойный повод, чтобы посвятить ему довольно большую часть нашего научно-популярного журнала.

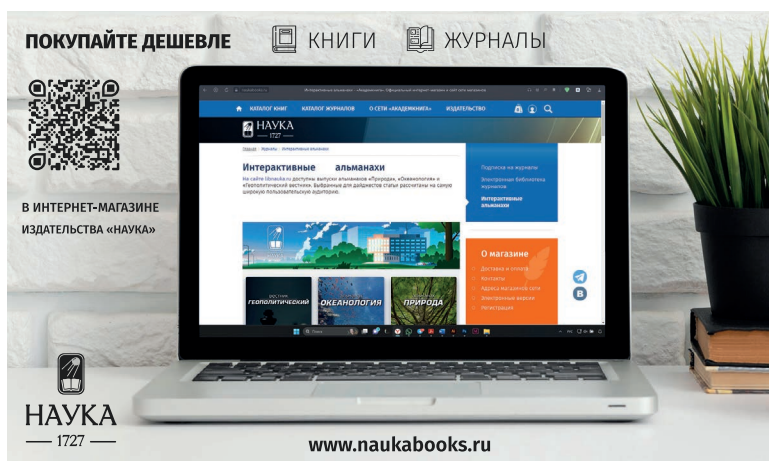
А.Р. Беляев умер в блокадную зиму 1942 г., а книги его живут сегодня, по ним сняли фильмы, вошедшие в золотой фонд советской киноклассики. Но об их авторе – Александре

Романовиче Беляеве, его нелегкой жизни и литературной судьбе мы знаем очень мало.

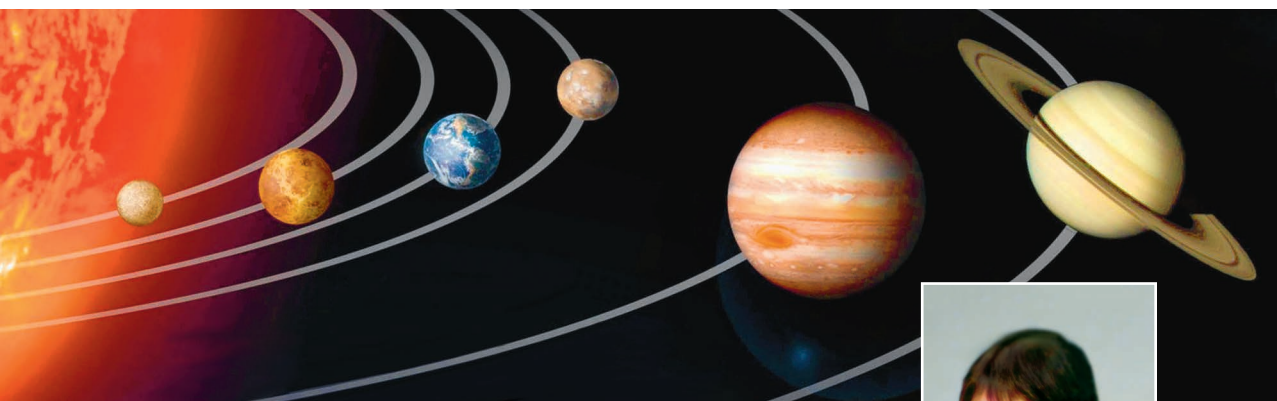
Большую статью об Александре Беляеве любезно согласился написать известный историк советской литературы 1920–1930-х гг., «ильфо-петрововед», автор классических работ по истории советской литературы Давид Маркович Фельдман. Очерк об А.Р. Беляеве как фантасте и его «космических произведениях» подготовила зам. главного редактора нашего журнала Ольга Закутняя, готовящая к печати большое исследование, посвященное фантастике в литературе и жизни.

...Книги, прочитанные в детстве, остаются с нами на всю жизнь. Я до сих пор помню зачитанный до дыр «Беляевский» трехтомник. Как ни странно, самым любимым его романом остается самый ненаучный – «Ариэль» – о дисциплинировании броуновского движения молекул. Понимаешь, что это невозможно, – но так хочется полететь, и летаешь – правда, во сне...

*Главный редактор
журнала «Земля и Вселенная»
академик Лев Матвеевич Зелёный*



ПРИЛИВНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ



ГУДКОВА Тамара Васильевна,

доктор физико-математических наук

Институт физики Земли РАН им. О.Ю. Шмидта

DOI: 10.7868/50044394824010018



Наша Солнечная система представляет собой семейство планет и спутников, сформированных из горных пород, льда, газа, а также их смеси¹. Для изучения недр Земли был разработан большой арсенал геофизических методов, но возможности для исследования строения других тел Солнечной системы остаются ограниченными. Широкий набор сейсмических данных доступен только для Земли, хотя сейсмические эксперименты были проведены на Луне и Марсе. Такие эксперименты очень дорогостоящие, и поэтому многие исследования планет опираются на дистанционное зондирование и геодезические измерения.

¹ Ксанфомалити Л.В. Парад планет. М.: Наука, Физматлит, 1997; Уральская В.С. Спутниковые системы планет // Земля и Вселенная. 2002. № 2. С. 3–15.

Эффективным средством получения информации о недрах планет и их спутников является измерение их реакции на приливное взаимодействие. Приливный отклик отражает вязкоупругое поведение материала планеты (или спутника) на гравитационное притяжение других тел. Изучение приливов твердых тел дает ключевую информацию о внутренней структуре, эволюции и происхождении планет. Какова роль, которую играют приливы в понимании строения недр планет? Что можно узнать из измерения приливной реакции в ожидаемых миссиях к планетам? Как интерпретация поверхностных геологических особенностей, возникающих в результате приливной деятельности, используется для понимания внутренних свойств и эволюции планетарного тела?

Обычно люди ассоциируют приливы только с изменением уровня моря. В некоторых местах на нашей планете дважды в течение суток можно наблюдать, как вода у берега поднимается и заливают часть суши, и спустя некоторое время уровень воды понижается и вода отступает, обнажая прибрежное дно. Наиболее высокие точки приливов наблюдаются в заливах Бретани в Европе (приливная волна до 14 м), в Североамериканском заливе Фонди до 18 м.

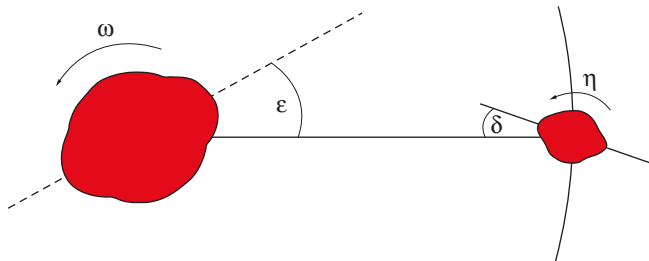
Помимо океанических приливов на Земле, приливы наблюдают в атмосфере и в теле Земли. Именно приливы в теле твердой Земли называются земными приливами. Из-за приливообразующей силы, которая действует на Землю со стороны Луны, и в меньшей мере Солнца, происходят периодические колебания уровня земной поверхности и гравитационного поля Земли. Не смотря на то, что Луна гораздо меньше, чем Солнце, она значительно ближе к Земле, и поэтому ее воздействие на Землю сильнее. Это явление всегда носит взаимный характер. Спутник вызывает приливы на нашей планете, и, в свою очередь, испытывает периодические возмущения от воздействия планеты, которые вызывают его деформацию.

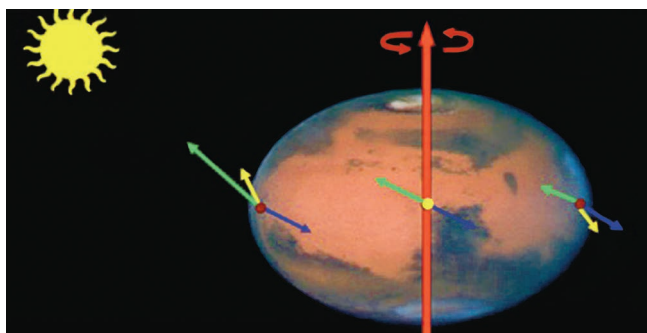
КАКОВЫ ПРИЧИНЫ ЭТОГО ЯВЛЕНИЯ?

На поверхности Земли тело находится под действием гравитационной силы притяжения, направленной к центру масс Земли, и центробежной

силы, направленной перпендикулярно к оси вращения Земли. Равнодействующая этих двух сил – сила тяжести – определяет в данной точке поверхности направление отвеса. Под действием Луны и Солнца величина и направление силы тяжести в рассматриваемой точке периодически меняются в соответствии с изменениями положений Луны и Солнца относительно Земли. Эти периодические изменения силы тяжести являются причиной океанических приливов. Под воздействием приливных сил происходит также и деформация поверхности Земли, причем амплитуда земных приливов размером около 30 см сравнима с амплитудой наиболее слабых приливов в океане. Амплитуда приливов на Земле зависит от взаимного положения Луны и Солнца относительно Земли. Их вклады могут складываться или вычитаться. Амплитуда также зависит от различных движений Луны относительно Земли. Например, из-за влияния Солнца орбита Луны меняется и происходит так

Приливная деформация и угол запаздывания приливного горба, индуцированные на планете и ее спутнике в результате гравитационного притяжения двух тел друг к другу (ω – угловая скорость вращения планеты, η – угловая скорость вращения спутника). При наличии трения (из-за отклонения свойств вещества планеты и спутника от идеально упругих) возникает запаздывание максимума прилива: ϵ и δ – угол запаздывания приливного горба планеты и спутника соответственно – для наглядности сильно преувеличены. Hussmann H. International Colloquium and Workshop Ganymede Lander, IKI, Mar 4–8, 2013





Изменение величины и направления приливной силы на поверхности планеты в результате приливного воздействия возмущающего тела (например, Солнца). На поверхности планеты выделенные точки находятся под действием гравитационной силы притяжения, направленной к Солнцу (зеленая стрелка), и центробежной силы, направленной перпендикулярно к оси вращения планеты (синяя стрелка). Приливное воздействие (равнодействующая этих двух сил) (желтая стрелка) меняется от точки к точке. Красная стрелка – ось вращения планеты. Hoolst T. International School on Space Science, September 12–16, 2016, L'Aquila, Italy

называемая прецессия узлов. У этой прецессии период примерно 18.6 лет, и это движение может заметно влиять на климат в разных местах Земли.

НЕМНОГО ИСТОРИИ

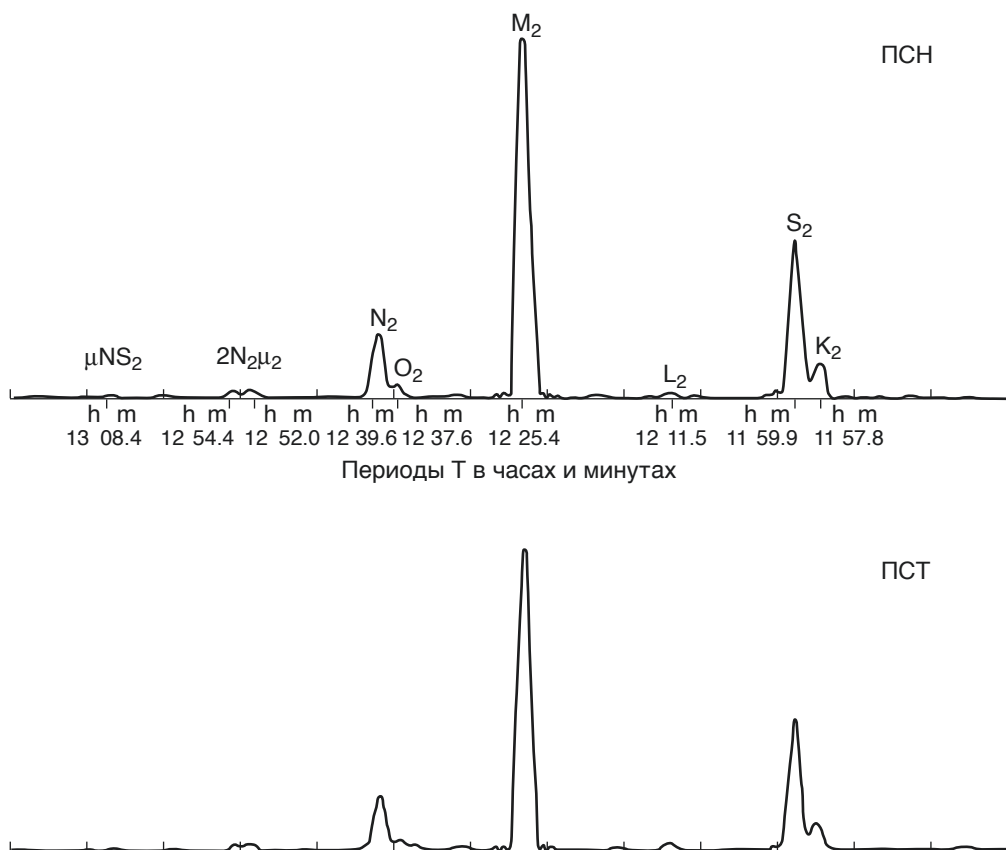
За явлением приливов в океане люди наблюдали еще с древности. На основную причину приливов и отливов в океане впервые указал Исаак Ньютон. Теория приливообразующей силы была дана в его фундаментальной работе 1687 г. «Математические начала натуральной философии». В 1774 г. великий французский математик Пьер-Симон Лаплас показал, что вращение Земли является главным фактором в решении этой проблемы.

Известно утверждение британского физика Уильяма Кельвина, что Земля обладает жесткостью стали, возникшее из рассмотрения прили-

вов. В 1863 г. он обратил внимание на очень простой способ определения средней жесткости земного шара. Его идея состояла в следующем. Если предположить, что Земля – это расплавленное тело, покрытое тонкой корой, то тогда приливные смещения земной поверхности должны почти точно совпадать с приливными смещениями эквипотенциальной поверхности и океанических приливов не должно быть. К тому времени океанические приливы были изучены довольно подробно, и сам факт их существования свидетельствовал о том, что толщина жесткой оболочки Земли должна ис-

числяться не десятками, а сотнями или тысячами километров. При толщине коры порядка десятков километров ей следовало бы приписать значения модуля сдвига, на много порядков превосходящие любые разумные пределы.

Приливная деформация планеты или спутника приводит как к вертикальному, так и к горизонтальному смещению поверхности, а также к возмущению гравитационного поля. В 1909 г. английский ученый Август Ляв ввел два параметра, с помощью которых можно судить о свойствах планетных недр. Первый параметр (h) характеризует, насколько поверхность Земли смещается под действием приливных сил со стороны Луны и Солнца в вертикальном направлении; второй параметр (k) характеризует изменение потенциального поля Земли из-за перераспределения масс в ее недрах. Есть еще третий параметр – число Шида (I), которое представляет деформации, вы-



Спектры приливных изменений силы тяжести в области полусуточных приливов в Талгаре. Спектральный анализ 18-месячного непрерывного ряда наблюдений приливных изменений силы тяжести, проведенных ИФЗ АН СССР: сверху – ПСТ-анализ полусуточных теоретических приливов, рассчитанных с точностью до 0.01 мГал; внизу – ПСН-анализ соответствующих наблюдаемых приливов. Отношение амплитуд (максимумов) наблюдаемых пиков к теоретическим дает значение гравиметрического фактора, связанного с внутренним строением Земли. Буквами обозначены общепринятые названия приливных волн. Парийский Н.Н. Развитие наук о Земле в СССР. М.: Наука, 1967

званные приливной силой на планете в горизонтальном направлении. Если бы Земля была абсолютно твердым телом, то эти параметры были бы равны нулю.

Изучение реакции Земли на приливное взаимодействие относится к началу XX века, когда был теоретически рассчитан отклик для сжимаемой и однородной модели Земли. Развитие сейсмологии в то вре-

мя сильно уточнило наше представление о строении Земли, затеяв вклад от изучения приливов. Но когда приливные возмущения были впервые зарегистрированы на орбитах искусственных спутников – в середине 1960-х гг. – поднялся сильный ажиотаж. К сожалению, ни одна из первых попыток определить число Лява (k) из данных спутниковых траекторий не была успешна из-за влияния океани-

ческих приливов, которые искажали данные о деформации твердой земной поверхности.

В середине 1960-х гг. в лаборатории внутреннего строения Земли Института физики Земли (ИФЗ АН СССР) под руководством члена-корреспондента АН СССР Н.Н. Парийского были начаты интенсивные экспериментальные исследования земных приливов для уточнения моделей внутреннего строения Земли². Уже к 1970-м гг. в ИФЗ были накоплены уникальные многолетние серии непрерывных приливных наблюдений в Обнинске, Красной Пахре и Талгаре, анализ которых позволил определить значения чисел Лява – с точностью около 1%, что соответствует точности измерений с помощью гравиметра при определении амплитуд приливных волн около 0.2 микрогала (1 мкГал = 10^{-6} Гал)³. При столь высокой точности наблюдений возникла необходимость учитывать эффекты океанических приливов не только в прибрежных, но и в континентальных областях. Расчеты ученых показали, что даже для весьма удаленных от океана пунктов (таких, как Обнинск или Талгар) учет влияния океана, так называемая «поправка за океан», имеют величину порядка

1 мкГал, что значительно превышает погрешности наблюдений.

В последние годы, благодаря внедрению радиоинтерферометров со сверхдлинной базой и криогенных гравиметров, точность астрометрических и приливных гравиметрических наблюдений возросла более чем на несколько порядков. С увеличением точности современной геодезии приливную реакцию Земли можно измерить с помощью спутниковой альтиметрии и Глобальных систем позиционирования. Точность современной спутниковой лазерной локации (Satellite Laser Ranging Systems, SLR) составляет менее 1 см, что позволяет определить координаты станции и параметры ориентира Земли. Данные с геодезических спутников – американских LAGEOS (запущены 4 мая 1976 г. и 23 октября 1992 г.), французских STELLA (26 сентября 1993 г.) и STARLETTE (6 февраля 1975 г. и 26 сентября 1993 г.) – используют для определения числа Лява Земли по движению станции наблюдения. Это открывает принципиально новые возможности исследования внутреннего строения Земли.

ПРИЛИВНОЕ ТРЕНИЕ

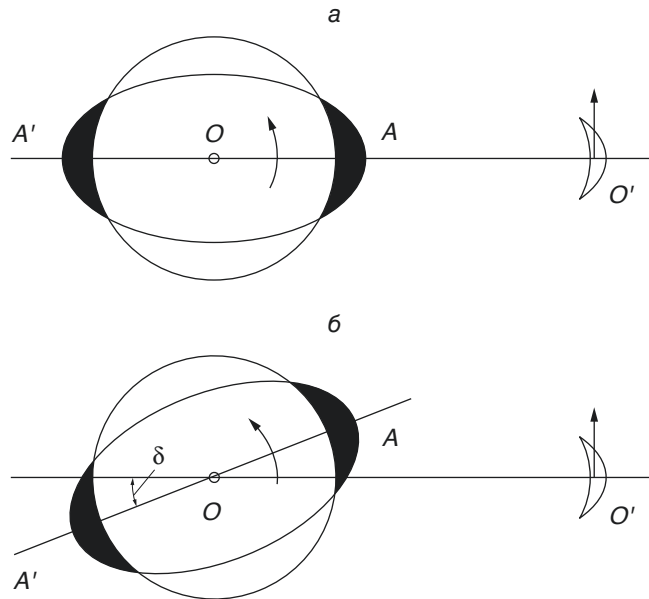
Предположим сначала, что недра планеты идеально упругие. Наибольшая ось деформируемой приливом планеты расположена вдоль линии, которая соединяет центры планеты и спутника. Тогда, если планета вращается быстрее, чем спутник обращается вокруг нее по орбите, приливные выступы при вращении планеты будут перемещаться по ней, все время оставаясь на линии центров. В этом случае вдоль линии центров момент сил, действующий между приливным горбом и возмущающим телом, равен нулю. Это верно

² Молоденский С.М. Приливы и нутация Земли // Астрон. Вестник. 2004. Т. 38 (6). С. 542–558.

³ Гравиметр – прибор для измерения ускорения силы тяжести. Гал – единица измерения ускорения, применяется в гравиметрии при измерениях ускорения свободного падения g . Стандартное значение g на Земле – 980.665 Гал. Изменение ускорения силы тяжести на поверхности Земли в точке, лежащей на линии центров Земля – Луна, из-за воздействия приливообразующей силы составляет 0.11 миллигал (мГал). Современные гравиметры уже достигли точности определения g на уровне $\sim 10^{-7}$ – 10^{-9} при относительных измерениях, а точность при абсолютных измерениях может составлять 0.03–0.07 мГал.

только при отсутствии диссипации (от лат. *dissipatio* – рассеивание) в системе.

Рассмотри случай, когда свойства планеты отклоняются от идеальной упругости. Если планета не вращается синхронно с приливным периодом, ее недра при каждом приливном цикле подвергаются периодической приливной деформации. Такие изменения всегда сопровождаются диссипацией, и приливный отклик планеты будет отставать по фазе от периодического приливного возмущения. Следовательно, приливный горб будет смещен на некоторый малый отрицательный угол по отношению к линии центров. Это угловое смещение линейно зависит от коэффициента затухания и частоты возмущения. Если планета вращается быстрее, чем приливный горб, то наличие диссипации будет приводить к передаче момента вращения планеты орбитальному движению возмущающего тела. Часть кинетической энергии вращения планеты передается орбитальному движению приливообразующего тела, а остаток рассеивается в планете в виде тепла. Этот процесс будет продолжаться до тех пор, пока угловая скорость вращения планеты не сравняется с угловой скоростью орбитального движения возмущающего тела. Если вращение планеты отстает от вращения приливного горба, то приливный момент стремиться передать угловой момент



Система Земля – Луна. Приливные выступы для: а – идеально упругой планеты или спутника, б – при наличии трения (из-за отклонения свойств вещества Земли от идеальных, в океанах возникает запаздывание максимума прилива). В точке А – гравитационная сила притяжения Луны максимальна, в точке А' – минимальна, О – центр Земли, О' – центр Луны, δ – угол запаздывания максимума прилива. Стрелками обозначены направление вращения Земли и направление движения Луны. Смещенный с оси вследствие трения приливный выступ вызывает замедление вращения Земли из-за момента сил, возникающего при взаимодействии Луны и приливного выступа; этот же момент сил увеличивает момент количества движения Луны по орбите, вследствие чего Луна отодвигается от Земли. Жарков В.Н. Внутреннее строение Земли и планет. М. 2013. С. 67

и энергию орбитального движения возмущающего тела вращению планеты, и часть кинетической энергии переходит в тепло внутри планеты.

Периодические деформации фигуры планеты сопровождаются диссипацией энергии. Этот необратимый переход механической энергии в тепло планетных недр вносит свой вклад в энергетический баланс планеты, наряду с другими источниками ее разогрева, такими как радиоактивность,

гравитационное сжатие, поток солнечного излучения. Приливный разогрев не является существенным для внутренней энергетики всех планет земной группы. Однако для спутников планет-гигантов ситуация совсем иная⁴.

Приливная диссипация не только отвечает за наблюдаемые орбиты и спиновые состояния небесных тел, но и может влиять на тепловую эволюцию этих тел. В результате тепловой эволюции внутренняя температура планеты (или спутника) изменяется со временем. Это приводит к существенным изменениям внутренней структуры и физических свойств тела, таким как вязкость и жесткость, которые, в свою очередь, могут значительно изменить приливную реакцию тела и повлиять на его орбитальную эволюцию и вращение. В Солнечной системе мы можем найти несколько примеров, когда приливная и тепловая эволюция влияют друг на друга. Например, в спутнике Юпитера Европе приливное нагревание может быть достаточно интенсивным для поддержания присутствия жидкого подповерхностного океана. Кроме того, приливное нагревание может привести к вулканизму, как на спутнике Ио, значительно превышающему нагрев долгосрочными радиогенными изотопами. Когда значительная часть льда или жидкой воды присутствует внутри тела, приливное нагревание может повлечь за собой криовулканизм⁵. Считается, что это происходит в нескольких ледя-

ных лунах, таких как Энцелад, Титан, Европа и Тритон.

Теория приливов дает хорошие результаты для системы Земля – Луна. Приливное трение тормозит вращение Земли и систематически увеличивает продолжительность суток. В настоящее время скорость вращения Земли за счет приливного трения меняется очень медленно, хотя этот эффект был сильнее в прошлом, когда Луна была ближе к земле. Замедление вращения Земли из-за приливного трения приводит к увеличению орбитального момента количества движения Луны. В результате Луна испытывает систематическое отодвигание от Земли и ее орбита расширяется. Вопрос об эволюции лунной орбиты связан с проблемой происхождения Луны, кроме того, и изучение эволюции лунной орбиты дает ценную информацию о свойствах Земли в раннюю эпоху после ее образования. Таким образом, приливное трение приводит к замедлению вращения Земли и отодвиганию Луны от Земли⁶.

ЛУНА КАК ЛАБОРАТОРИЯ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ТЕОРИИ ПРИЛИВОВ

Луна – одно из наиболее изученных тел Солнечной системы. Она находится на расстоянии всего в 60 радиусах Земли, и ее поверхность подвергается ежемгновенной приливной деформации в 0.1 м под воздействием гравитационного поля Земли. Этот приливный потенциал периодически воздействует также на гравитационное поле Луны и ее ориентацию. Кроме того, на Луне нет океана, как на Земле, и приливные изменения

⁴ Хаббард У. Внутреннее строение планет. Пер. с англ. М.: Мир. 1987.

⁵ Криовулканы (холодные вулканы) извергают воду, метан, аммиак (криолаву), в отличие от вулканов, из которых извергается расплавленная скальная порода. Например, они действуют на спутниках Юпитера Ганимеде, Европе и спутнике Сатурна Энцеладе.

⁶ Жарков В.Н. Внутреннее строение Земли и планет. Элементарное введение в планетную и спутниковую геофизику. М.: Наука и образование, 2013.

определяются только твердотельными приливами. Эти вариации обнаруживаются космическими аппаратами, находящимися на орбите Луны, и лазерными измерениями LLR (Lunar-Laser Ranging), проводимыми со станций на Земле. Эти точные регулярные измерения за последние 50 лет сделали Луну лучшим местом для проверки теории приливов. Интерпретация этих вариаций дает информацию о недрах Луны, но тем не менее все равно остается много вопросов о ее внутренней структуре и механизмах диссипации⁷.

Определение числа Лява k_2 (число Лява второго порядка) на месячном периоде Луны (ее орбитальный период) было недавно получено в ходе выполнения с 2012 г. американского эксперимента GRAIL (Gravity Recovery and Interior Laboratory) по изучению гравитационного поля и внутреннего строения, который включает точные измерения двух спутников, находящихся на орбите Луны⁸. Этот эксперимент аналогичен спутниковому проекту GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment NASA, DLR) в 2002–2017 гг. для изучения гравитационного поля Земли. Число Лява h_2 определяется лазерным альтиметром LOLA (Lunar Orbiter Laser Altimeter) на борту американского орбитальной станции Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO), который измеряет с 2009 г. смещения поверхности Луны с точностью до 10 см. Значения параметра диссипации Луны извлекают из измерений лазерной локации (LLR) путем анализа лунной ориентации и либрации. Лазерная локация Луны состоит в измерении расстояния между двумя точками на поверхности Земли

и Луны. Это выполняется в результате точных измерений времени движения в прямом и обратном направлениях светового луча, испускаемого лазером со станции на Земле, и возвращаемого лунными уголковыми отражателями, развернутыми астронавтами США и российскими роботизированными миссиями «Луноход» в 1970 и 1973 гг. Это позволяет определить расстояния Земля – Луна с точностью до сантиметра.

Мы находимся в начале изучения диссипативных свойств Луны, и наши знания по-прежнему фрагментарны. Установка новых, более компактных и оптимизированных одиночных лунных светотражателей, лучше распределенных пространственно на Луне во время следующих полетов по пилотируемой программе *Artemis* (США), позволит улучшить точность измерений.

РОЛЬ ПРИЛИВОВ В ИЗУЧЕНИИ НЕДР ПЛАНЕТ И СПУТНИКОВ

Наблюдения за изменением уровня поверхности Земли и других тел Солнечной системы помогают изучать их глубинное строение. Недра планеты не являются упругими и в результате подвергаются воздействию внутреннего трения, из-за которого приливная выпуклость точно не совпадает с положением приливного тела, а демонстрирует фазовое отставание. Величина приливной деформации и фазовое отставание чувствительны к внутренним свойствам планеты: какие минералы находятся в недрах планеты, при каких температурах, при каком состоянии (жидкое или твердое). Чем «мягче» планета, чем больше она деформируется под влиянием приливов. Поэтому большая деформация (более высокие значения чисел Лява) подразумевает,

⁷ Иванов М.А. Неразгаданные тайны Луны // Земля и Вселенная. 2019. № 4 (328). С. 52–63.

⁸ Две новые лунные АМС // Земля и Вселенная. 2012. № 2. С. 35–36.

что внутренняя часть планеты является менее жесткой, т. е. содержит жидкие части, высокопористый материал и т. д., в то время как большое фазовое запаздывание подразумевает, что недра состоят из материала, который является более вязким. Таким образом, приливная реакция в виде приливных чисел Лява и угла запаздывания приливного горба используются для исследования внутреннего строения планет и спутников⁹.

При анализе приливных наблюдений на Земле сопоставляются амплитуды и фазы каждой гармоники теоретических приливов с измеренными значениями. Причем приливы – единственное геофизическое явление, для которого известны силы, вызывающие деформацию. Измерения приливов дают дополнительные сведения о внутреннем строении планеты, позволяя исследовать физико-механические свойства земных недр. Для регистрации отклонений отвеса устанавливается аппаратура, непосредственно связанная с земной корой. Под действием приливообразующей силы кора деформируется в направлении этой силы, и проводятся наклонномерные измерения. Приливные вариации силы тяжести регистрируются гравиметрами.

МЕРКУРИЙ

Исследования недр Меркурия долгое время опирались на данные о магнитном и гравитационном поле, полученными американской межпланетной станцией *Mariner-10* в 1974–1975 гг. Более подробное картирование гра-

⁹ Bagheri A., Efroimsky M., Castillo-Rogez J., Goossens S., Plesa A.-C., Rambaux N., Walterová M., Khan A., Giardini D. Tidal insights into rocky and icy bodies: An introduction and overview // *Adv. Geophys.* 2022. Vol. 63. P. 231–320.

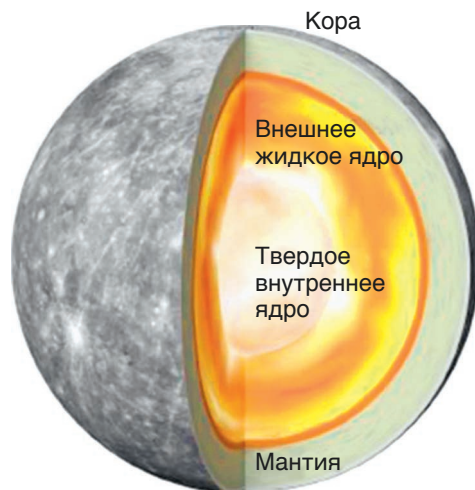


Схема внутреннего строения Меркурия по анализу геодезических данных, полученных космическим аппаратом *Messenger* (США). Модель планеты состоит из четырех слоев: твердого внутреннего ядра, внешнего жидкого ядра, мантии и коры. Genova A. et al. *Geoph. Research Letters*. 2019. Vol. 46 (7). P. 3625–3633

витационного поля Меркурия выполнено космическим аппаратом *NASA MESSENGER* (MERcury Surface, Space ENVIRONMENT, GEOchemistry и Ranging) в 2011–2015 гг., впервые выведенным на орбиту Меркурия¹⁰, и была определена гравитационная приливная реакция Меркурия (число Лява k_2). Меркурий не имеет спутников, и приливы на Меркурии вызываются Солнцем. Меркурий ближайшая к Солнцу планета, и приливы на Меркурии сравнимы или даже сильнее, чем лунные приливы на Земле. Именно измерение момента инерции и чисел Лява Меркурия позволило ученым узнать, что Меркурий удивительно плотное для своих размеров тело, и это, скорее всего, связано с присутствием очень боль-

¹⁰ Ананьева В.И. «Мессенджер» изучает Меркурий // *Земля и Вселенная*. 2016. № 4. С. 30–48.

шого железного ядра. Анализ данных лазерной альтиметрии Mercury Laser Altimeter (MLA) предоставил первую оценку радиального смещения поверхности (число Лява h_2). По этим значениям было определено наличие твердого внутреннего ядра с наиболее вероятным размером от 0.3 до 0.7 от радиуса жидкого ядра.

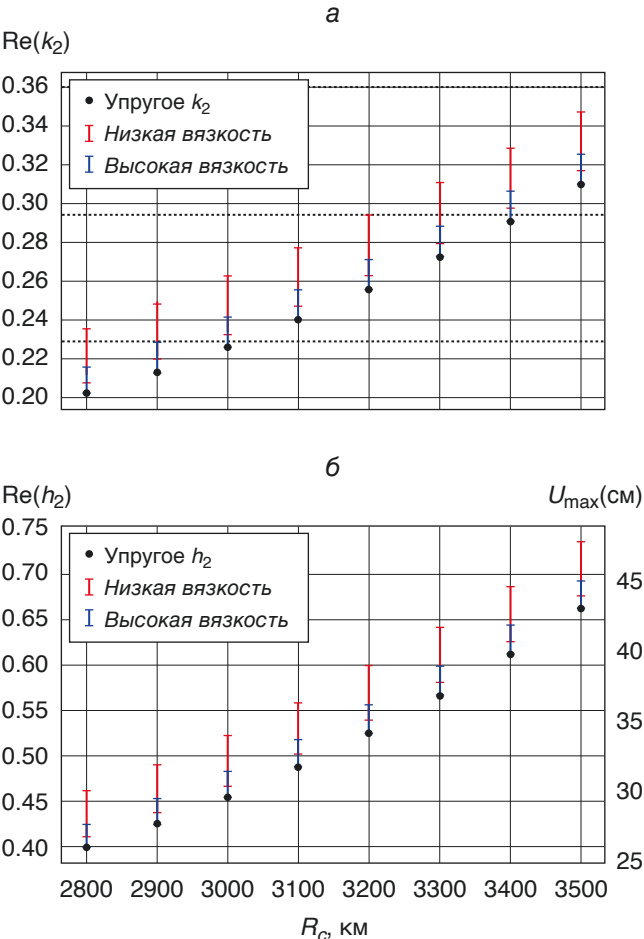
Следующая программа изучения Меркурия связана с космическим аппаратом BepiColombo (ESA, JAXA), который должен выйти на его орбиту в 2025 г. Он проведет точные измерения гравитационного поля, а также выполнит лазерную альтиметрию с более глобальным охватом,

чем это было возможно с помощью MESSENGER. Это поможет решить некоторые проблемы в понимании внутренней структуры Меркурия.

ВЕНЕРА

В 1996 г. по данным наблюдений американских межпланетных станций *Magellan* и *Pioneer Venus Orbiter* была получена оценка числа Лява k_2 и сделан вывод, что Венера имеет полностью жидкое ядро. Однако этот вывод основывался на рассмотрении чисто упругой модели планеты. В настоящее время показано, что при решении этой

Графики модельных значений вещественной части неупругих чисел Лява k_2 (а) и h_2 (б) в зависимости от радиуса ядра R_c для ряда моделей Венеры с различной вязкостью. Горизонтальные штриховые линии показывают полосу допустимых наблюдений значений числа Лява k_2 . Если вязкость низкая, то предпочтительнее модели с радиусом ядра 3100–3400 км, а если вязкость высокая, то с ядром 3200–3500 км. Так как вязкость экспоненциально убывает с увеличением температуры, то большое ядро свидетельствует о «холодной мантии», а среднее ядро – о «горячей мантии». Amorim D.O., Гудкова Т.В. Астрон. вестн. 2023. Т. 57 (5). С. 410



задачи необходимо учитывать вязкоупругие свойства недр Венеры. К сожалению, погрешность измерений на сегодняшний день достаточно высока, и сейчас нет однозначного ответа о размере и состоянии ядра, имеющиеся данные не ограничивают ни состояние ядра, ни минералогию мантии и температурный профиль¹¹.

Из-за отсутствия точных приливных измерений Венера по-прежнему остается самым загадочным из земных миров. Сейчас планируются два проекта по изучению Венеры для запуска в 2031 г. Миссия NASA VERITAS (Venus Emissivity, Radio Science, InSAR, Topography, and Spectroscopy) изучит геологическую и вулканическую активность, а также выполнит измерение гравитационного поля и приливной реакции планеты¹². Программа ESA *EnVision* будет сосредоточена на геологических структурах Венеры, которые представляют интерес для понимания тепловой эволюции планеты¹³. Как и в случае VERITAS, основные цели миссии также включают определение гравитационного поля с пространственным разрешением около 170 км. В то время как VERITAS обеспечит глобальную геофизическую съемку, миссия *EnVision* предназначена для целенаправленных, повторных наблюдений за регионами, представляющими интерес,

выявленными первой миссией. С помощью новых данных будет возможно уточнение размера ядра Венеры, и первые измерения фазы запаздывания приливного горба наложат ограничения на величину средней вязкости мантии.

МАРС

Благодаря многочисленным успешным полетам, особенно за последние два десятилетия, Марс стал самой геофизически исследованной планетой после Земли. Это единственная планета земной группы, за исключением Земли, которая имеет естественные спутники. Приливы на Марсе генерируются главным образом Солнцем и Фобосом, поскольку приливы, вызванные Деймосом, значительно слабее из-за его небольших размеров и большего расстояния. Обширный объем информации о Марсе был получен с орбитальных и спускаемых космических аппаратов (*Mars Pathfinder*, *Mars Global Surveyor*, *Mars Odyssey*, *Mars Reconnaissance Orbiter*, *Mars Express*). До проведения сейсмических измерений, выполненных миссией *InSight*, геодезические измерения были единственными данными при построении моделей внутреннего строения Марса.

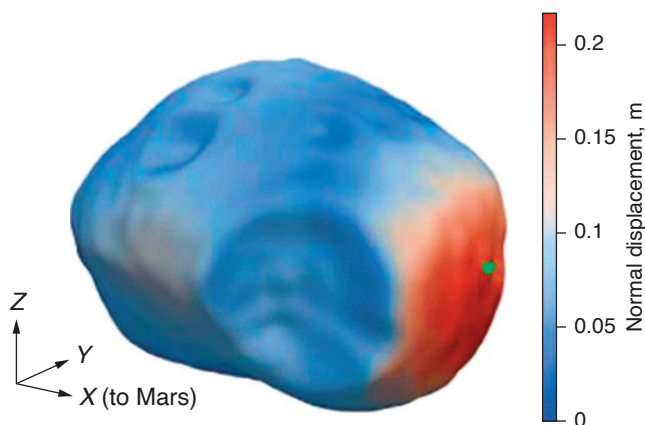
Число Лява k_2 , полученное из анализа данных MGS в сочетании с информацией от американских межпланетных станций *Viking Lander* и *Mars Pathfinder*, указало на наличие большего жидкого ядра радиусом 1520–1840 км. На основе анализа сейсмических данных от марсотрясений, обнаруженных в ходе сейсмического эксперимента SEIS миссии NASA *InSight*, в 2021 г. был определен радиус жидкого марсианского ядра 1830 ± 40 км с плотностью 5700–6300 кг/м³. В 2023 г., используя больший объем сейсми-

¹¹ Dumoulin C., Tobie G., Verhoeven O., Rambaux N. Tidal constraints on the interior of Venus // J. Geophys. Res.: Planets. 2017. Vol. 122. № 6. P. 1338–1352. Amorim D.A., Гудкова Т.В. Внутреннее строение Венеры на основе модели PREM // Астрон. вестн. 2023. Т. 57 (5). С. 403–414.

¹² Cascioli G., Hensley S., De Marchi F., Breuer D., Durante D., Racioppa P., Jess L., Mazarico E., Smrekar S.E. The determination of the rotational state and interior structure of Venus with VERITAS // Planet. Sci. J. 2021. Vol. 2. P. 220–231.

¹³ Rosenblatt P., Dumoulin C., Marty J.-C., Genova A. Determination of Venus' interior structure with EnVision // Remote Sens. 2021. Vol. 13. id. 1624.

Смещение поверхности
Фобоса по нормали (normal
displacement) за счет
приливного воздействия
Марса (в метрах). Ось X
направлена к Марсу.
Dmitrovskii A.A. et al. *Icarus*.
2021. P. 114714



ческих данных, было найдено, что металлическое ядро Марса на 150–170 км меньше (радиус ядра Марса 1650 ± 20 км) и на 5–8% плотнее (6500 кг/см^3)¹⁴. Эти результаты точного сейсмического анализа очень хорошо согласуются с выводами, основанными на данных о приливах. Это соответствие иллюстрирует силу геодезических измерений при зондировании внутренней структуры планет.

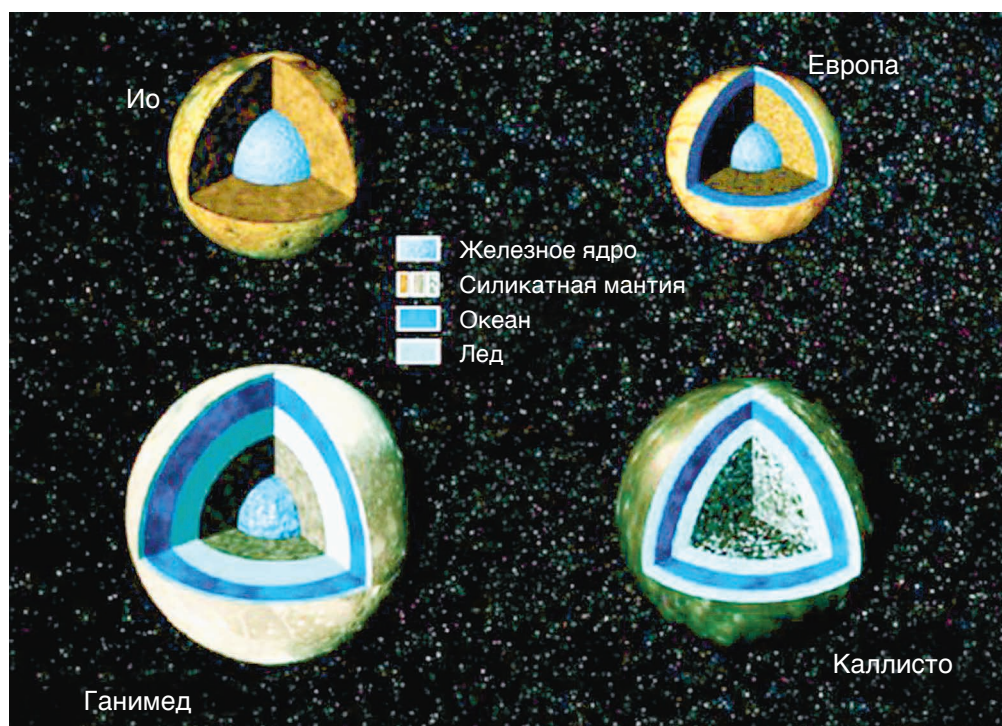
Изучение приливов в системе Марс – Фобос – Деймос не только дает информацию о внутреннем строении Марса, но может быть использовано для получения знаний о недрах и происхождении двух его спутников. Результаты показали, что с большой вероятностью два спутника являются остатками распавшегося прародителя, который был разрушен 1–2.7 млрд лет назад. Более того, основываясь на данных о приливной эволюции спутников, сделан вывод, что Фобос и Деймос являются сильно диссипативными телами и имеют сильно раздробленную и пористую внутреннюю структуру. В зави-

симости от внутренних свойств спутников приливы, вызываемые на них Марсом, могут быть значительными. Моделирование приливных деформаций Фобоса дало несколько возможных моделей его внутреннего строения, таких как «груда камней» или монолитное тело, состоящее из горных пород или смеси льда и горных пород. Какая из этих моделей реальна, будет исследовано предстоящей японской миссией Martian Moons eXploration (MMX), запуск которой намечен на 2024 г., и образцы грунта, возвращенные со спутников, смогут пролить свет на происхождение Фобоса и Деймоса.

СПУТНИКИ ПЛАНЕТ-ГИГАНТОВ

Ледяные спутники планет-гигантов многочисленны и различаются по своим свойствам. Огромные ледяные спутники могут иметь слои с жидкой водой под слоем ледяной поверхности. Решающим фактором для существования внутренних океанов является наличие летучих компонент, таких как аммиак. Наличие и протяженность таких слоев зависит от теплового состояния и состава водного слоя во внешней части спутника. Точное определение гравитационного поля спутника – это одна из

¹⁴ Samuel H., Drilleau M., Rivoldini A., Xu Z., Huang Q., Garsia R.F., Lekic V., Irving J.C.E., Badro J., Lognonne P.H., Connolly J.A.D., Kawamura T., Gudkova T., Banerdt W.B. Geophysical evidence for an enriched molten silicate layer above Mars's core // *Nature*. 2023. Vol. 622. P. 712–717.

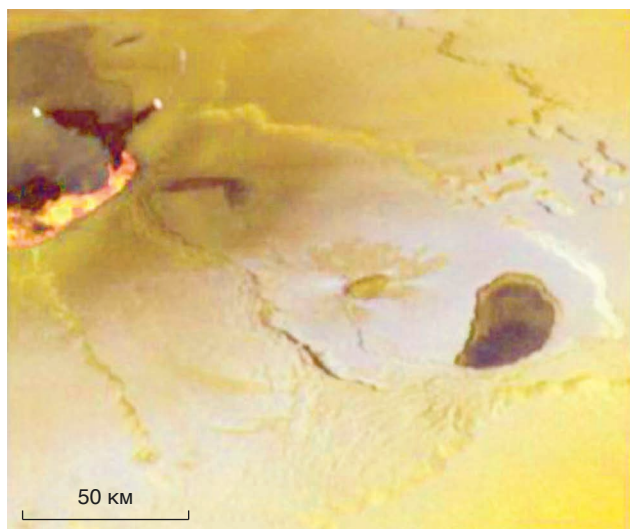


Модели внутреннего строения спутников Юпитера Ио, Европы, Ганимеда и Каллисто.
 Состав оболочек: железное ядро, силикатная мантия, океан, лед – показан цветом.
 Sotin C., Tobie G. *Comptes Rendus De L'Academie Des Sciences Physique*. 2004. V. 5. P. 772

возможностей обнаружить подповерхностные океаны. Амплитуда и фаза задержки приливного горба как отклика на периодические внешние силы могут быть использованы для определения общей жесткости недр, что также, в свою очередь, накладывает ограничение на существование жидких слоев¹⁵. Приливные амплитуды будут на порядок величины больше при наличии жидкого слоя под внешним ледяным слоем. Поэтому приливный отклик слоя льда может быть использован для определения толщины ледяного слоя, и, следовательно, глубины залегания жидкой воды.

¹⁵ Hussmann H., Sotin C., Lunine J.I. Interiors and evolution of icy satellites. In *Treatise on Geophysics*. 2nd ed. 2015. Vol. 10. P. 605–635.

Огромная масса и размер Юпитера, а также небольшое расстояние от спутников вызывают сильные приливные силы. Это важный источник энергии в системе Юпитера. Приливное трение считается на порядок больше радиогенного и само может объяснить наличие океана под ледяной корой. К концу 1970-х гг. стало очевидным значение приливного трения для некоторых спутников. Для Ио, Европы, Ганимеда и Энцелада приливное трение рассматривается как основная причина вулканической деятельности Ио и значительного обновления поверхности за время существования. Программа NASA *Galileo* (работала на орбите Юпитера в 1995–2003 гг.) привела к дальнейшему улучшению знаний о внутрен-



Снимки высокого разрешения спутника Юпитера Ио по данным, полученным космическим аппаратом *Galileo* (США). Вулканические плюмы поднимаются на высоту более чем на 100 км над его поверхностью: слева – недавний поток горячей лавы на поверхности; справа – плюм виден на кромке спутника. Tobie G. International School on Space Science, September 12–16, 2016, L'Aquila, Italy

ней структуре галилеевых спутников. Аналогичные данные были получены в 2004–2017 гг. межпланетной станцией *Cassini* (США) для некоторых ледяных спутников Сатурна¹⁶.

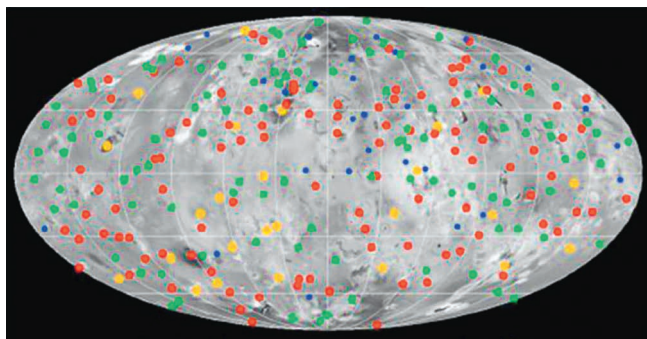
ПРИЛИВНОЙ РАЗОГРЕВ

Приливная реакция спутников планет-гигантов стала темой, вызывающей большой интерес после того, как было признано, что приливное трение в недрах этих спутников может быть значительным источником тепла. Эти условия наилучшим образом выполняются для спутника Юпитера Ио, для которого приливное трение до сих пор является доминирующим. В настоящее время приливный нагрев дает суще-

ственный вклад в тепловой бюджет Европы, Энцелада и, возможно, Титана. Пример сильной активности Энцелада показывает, что внутренний состав и тепловое состояние могут быть решающим для приливных эффектов.

Обнаружение активного вулканизма на Ио было одним из самых неожиданных результатов полетов двух американских аппаратов *Voyager* к Юпитеру. Еще перед их пролетом в 1979 г. вблизи Ио было высказано предположение о том, что приливный разогрев может играть главную роль в истории спутника. Но даже с учетом этого предположения трудно было предвидеть реальные масштабы современной вулканической активности Ио. Снимки с *Voyager-1* отчетливо засвидетельствовали об очень молодой поверхности Ио с точки зрения геологии, на которой полностью отсутствуют видимые ударные кратеры.

¹⁶ Шевченко В.В. Жизнь и смерть «Галилео» // Земля и Вселенная, 2004, № 3. Уральская В.С. Некоторые итоги миссии «Кассини-Гюйгенс» // Земля и Вселенная, 2019, № 1.



Спутник Юпитера Ио – самый вулканически активный объект в Солнечной системе. Мощность его приливного нагрева оценивается между 65 и 125 ТВт. Распределение и мощность теплового излучения извергающихся в настоящее время вулканов Ио. Цветом показано тепловое излучение от слабого к большому: синий, зеленый, красный, желтый. С марта 2017 г. по июль 2022 г. космический аппарат Juno (США) идентифицировала 266 горячих точек. Davies A.G. et al. *Nature Astronomy*. 2023. Vol. 8. P. 95

Вулканические структуры были найдены даже до обнаружения активных извержений, происходивших в течение пролета *Voyager*. Поверхность Ио перерабатывается с интенсивностью 0.1 см/год.

Тепловая структура и энергетика Ио довольно необычны. Спутник Юпитера Ио имеет такой же размер как Луна, но наблюдаемый средний тепловой поток на поверхности приблизительно в 100 раз выше. Этот тепловой поток сопровождается активной и обширной вулканической деятельностью, которая выше, чем у любого тела Солнечной системы. Не существует способа объяснить, как такая большая энергия могла быть запасена изначально в спутнике. На самом деле, Ио непрерывно получает энергию от Юпитера, и этот способ – механизм приливного разогрева – представляет пример роли приливной диссипации. Нагревается ли Ио некоторым другим механизмом, отличным от приливной диссипации? В качестве такой возможно-

сти предлагался электрический разогрев, так как Ио движется в сильном магнитном поле Юпитера, и вдоль магнитных силовых линий, проходящих через Ио, текут индуцированные токи, цепь замыкается в ионосфере Юпитера. Если такой механизм и имеет место, то только как дополнительный источник.

Несмотря на несколько наблюдений со стороны миссий и устойчивую программу наземных наблюдений, нам по-прежнему не хватает полного понимания механизмов, ведущих приливный ра-

зогрев в Ио, и особенно того, что это говорит нам о глубоких недрах Ио. Наблюдения магнитного поля Галилео указывают на то, что спутник может содержать глобальный магматический слой, хотя его происхождение обсуждается. Измерения вулканической активности в качестве показателя поверхностного теплового потока на основе наборов данных космических аппаратов, охватывающих несколько десятилетий, обнаружили более низкую активность в экваториальной области. Пик теплового потока приходится на средние широты. Распределение областей высокой диссипации внутри Ио очень зависит от локализации диссипации: в астеносфере или нижележащей мантии.

Приливные числа h_2 и особенно l_2 более чувствительны к распределению расплава, чем k_2 , и позволили бы различать режимы с доминированием мантии или с доминированием астеносферы. Кроме того, амплитуда дневной либрации Ио будет в несколько раз больше, если Ио имеет

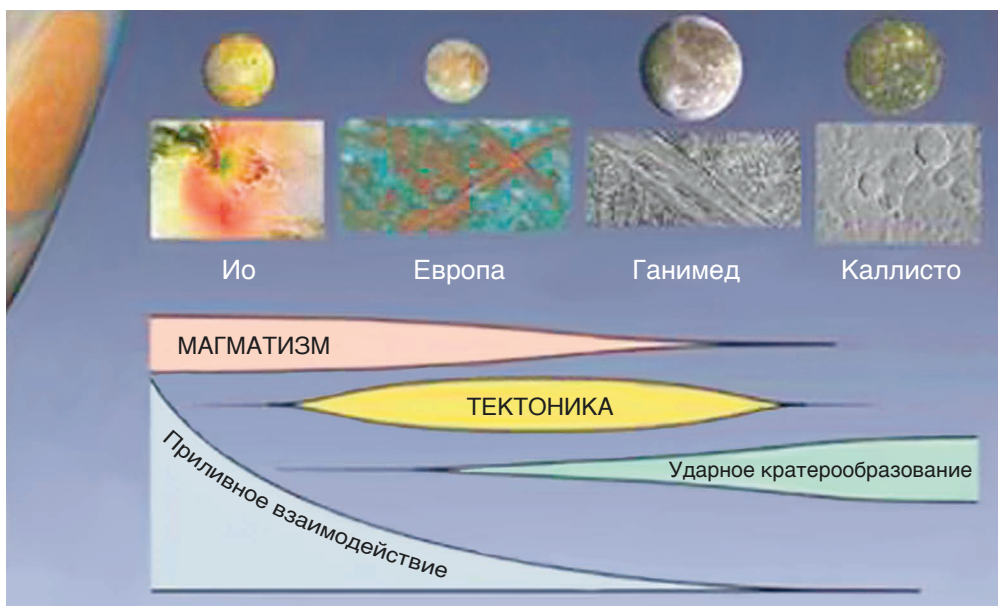
океан магмы по сравнению с частично расплавленной астеносферой. По оценкам, амплитуда либрации может быть больше 1 км в первом случае. Миссия ESA JUICE (JUperiter ICy moons Explorer), которая была запущена в апреле 2023 г. и наблюдения с аппарата NASA *Juno* (два близких пролета к Ио в 2023 и 2024 гг.) могут пролить свет на поведение этого спутника.

На данный момент имеющиеся ограничения приливных параметров обледеневших спутников немногочисленны. Множественные облеты спутника Сатурна Титана орбитальным аппаратом *Cassini* привели к высокому значению числа Лява k_2 , которое было интерпретировано как свидетельство наличия океана высокой плотности: около 1200 кг/м^3 . Такая высокая плотность указывает на большое содержание солей, что не может быть одно-

значно объяснено космохимическими пропорциями. Согласно прогнозу, измерение гравитационного поля в рамках миссии NASA *Europa Clipper* (запуск в конце 2024 г.) даст возможность получить довольно точное приливное число Лява k_2 для спутника Европа. Сочетание радиолокационных измерений и получения снимков поверхности дадут значение числа h_2 . Миссия JUICE также планирует получить эти параметры для спутника Ганимед.

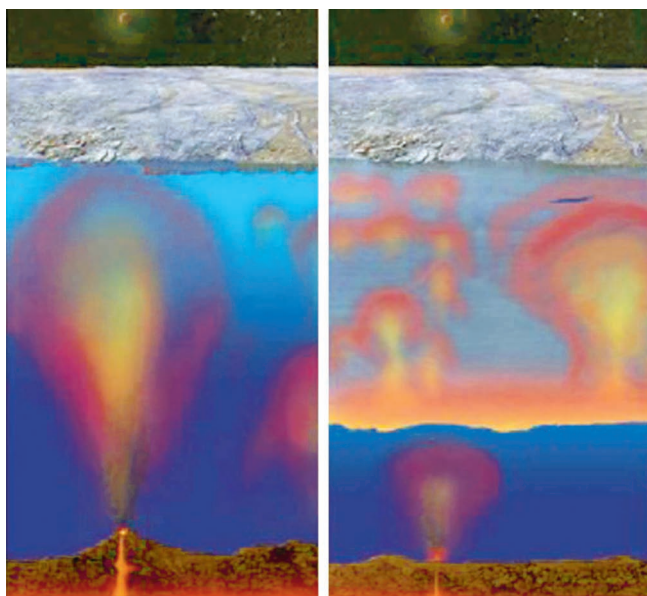
ГЕОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТИ – ЗЕРКАЛО ПРИЛИВНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Поверхностные геологические особенности в результате приливного взаимодействия могут также использоваться для ограничения как внутреннего стро-



Галилеевы спутники Юпитера и их энергетический баланс. Приливное взаимодействие ослабляется от Ио к Калисто. Геологическая активность уменьшается с увеличением расстояния от Юпитера: магматизм, тектоника, ударное кратерообразование.

Hussmann H. The Solar System overview. DLR, 2012–2013



Разрез спутника Юпитера Европа. Схематично показаны возможные процессы в недрах спутника, которые являются причиной его молодой поверхности: локализованные источники тепла в силикатной оболочке: вода очень горячая и во время вулканического извержения, поднимаясь к поверхности, проплавляет ледовую кору, вызывая смещения (слева); лед с примесями плавится при более низкой температуре, чем чистый водяной лед; из-за разогрева приливным трением внешних слоев происходит частичное плавление вещества, что приводит к движению к поверхности (справа).

Hussmann H. DLR. Potsdam Summer school. Sep 24, 2012

ения, так и тепловой эволюции планетарных тел. Хотя эта область все еще является областью активного изучения, некоторые выводы были получены.

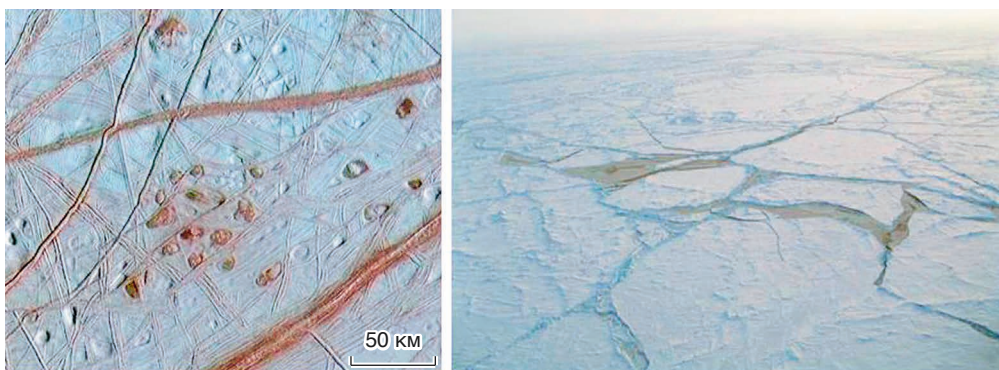
Степень приливного воздействия на поверхность спутника зависит не только от таких орбитальных элементов, как эксцентриситет и наклонение, от близости к родительской планете, а также от реакции материала, из которого состоит планета или спутник, на приливную деформацию. Это, в свою очередь, сильно зависит от наличия или отсутствия океана, реологии недр и величины теплового потока, выделяемого спутником. Таким

образом, геологические особенности, видимые на поверхности, могут дать представление о внутренней структуре и тепловом состоянии. Например, имеется или нет тектоническая активность, является диагностической характеристикой для тепловой истории спутника. Аналогично, наличие извержений в виде поверхностных потоков или гейзеров может дать представление об истории охлаждения спутника и составе его подповерхностного океана. Наконец, даже изменения в морфологии кратера могут характеризовать общую тепловую историю спутника.

Полученные снимки поверхности высокого разрешения спутника Европа проливают некоторый свет на его внутреннюю структуру и эволюцию. По сравнению с другими спутниками на Европе имеются характерные

тектонические черты, такие как поднятия, блоки, хаотические террасы. Малое количество кратеров указывает на то, что поверхность обновлялась за счет тектонических или криовулканических процессов.

Поверхность Европы моложе, чем поверхность других галилеевых спутников Ганимеда и Каллисто. Причинами могут быть: 1) тонкая кора, которая периодически разрывается под действием приливных сил, блоки подвергаются потокам жидкого океана снизу, и могут двигаться относительно друг друга, так как температура поверхности ниже температуры



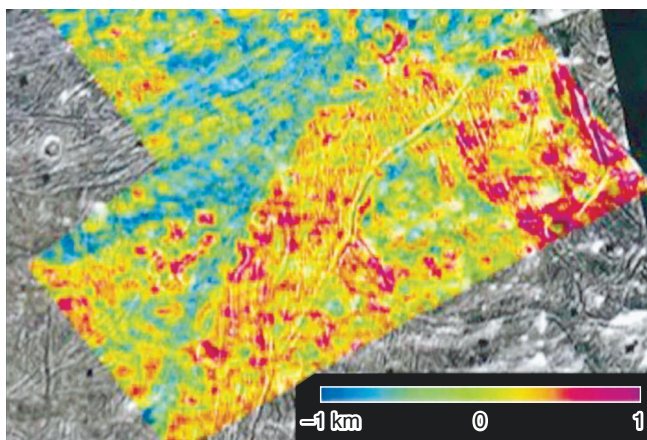
Трещиноватая ледяная поверхность спутника Юпитера Европы (слева). Видны разломы, купола и красноватые пятна и полосы, что характерно для тектоники и криовулканизма. Снимок получен космическим аппаратом *Galileo* (США). Справа – трещины в паковом льду Арктики на Земле

замерзания, то вода на поверхности быстро замерзает; 2) локализованные источники тепла в силикатной оболочке: вода очень горячая и во время вулканического извержения, поднимаясь к поверхности, проплавляет ледовую кору, вызывая смещения. При этом вулканизм необязателен, конвекция в силикатной оболочке может создавать зоны более высокой температуры и условия для продвижения горячей воды к поверхности. Это приветствуется экзобиологами, поскольку при таком сценарии условия на границе силикаты/океан похожи на условия на дне земного океана; 3) лед с примесями плавится при более низкой температуре, чем чистый водяной лед; из-за разогрева приливным трением внешних слоев происходит частичное плавление вещества, что приводит к движению расплава от области большего давления к меньшему (т. е. к движению вещества к поверхности) и образованию хаотичных террас.

Энцелад демонстрирует тектонические особенности, которые морфологически схожи с таковыми в на Европе, но тектонизм Энцелада явля-

ется региональным, с активностью, сосредоточенной вблизи южного полюса. Толщина оболочки льда на Энцеладе, по-видимому, значительно меняется в зависимости от местоположения; ледяная оболочка очень тонкая на южном полюсе, и толще всего вдоль экватора. В неоднородной ледяной оболочке усиливаются приливные напряжения в тонких зонах. Таким образом, степень тектонической активности вполне может быть показателем толщины ледяной оболочки, причем более старые тектонические области представляют собой в прошлом тонкие зоны. Эта интерпретация предполагает, что, как и на Европе, множественные гребни трещин указывают на относительно тонкие ледяные оболочки.

Хочется отметить еще один интересный случай – это спутник Сатурна Япет. Известно, что если космическое тело вращается, его форма будет не идеальным шаром, а немного сплюснутой. Всем известно, что из-за вращения Земли вокруг своей оси ее радиус на экваторе примерно на 30 км больше, чем радиус на полюсах. Зная скорость вращения тела, можно вы-



Поверхность спутника
Юпитера Ганимеда.
Геологические черты
указывают на тектонические
процессы в прошлом
и кривовулканическую
активность. Для наглядности
перепад высот показан
цветом от -1 км до 1 км.
Tobie G. International School on
Space Science, September 12–16,
2016, L'Aquila, Italy

числить, какая у него должна была быть форма, если бы оно было в равновесии. Однако не всегда это соответствие выполняется. Форма Япета соответствует периоду обращения длительностью нескольких часов, но на самом деле период Япета составляет почти 80 дней. Это указывает на то, что когда-то Япет вращался значительно быстрее, чем сейчас. Замед-

ление вращения, скорее всего, произошло из-за приливных сил со стороны Сатурна.

За последние два десятилетия наше понимание внутренней структуры планет и спутников было значительно улучшено благодаря данным космических миссий. В ближайшее десятилетие нас ждет еще много удивительных открытий.

Реклама

Издательство предлагает услуги по редакционно-издательской подготовке материалов, сборников, а также весь комплекс полиграфических услуг

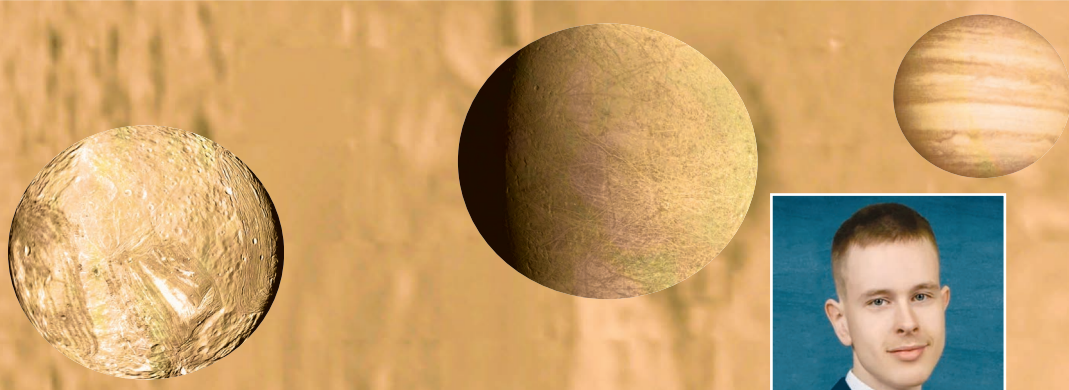
Издательство «Наука»

готово оказать услуги под ключ по организации и проведению семинаров, конференций, презентаций, выставок в конференц-зале и на экспозиционных площадках издательства по адресу:

г. Москва, Шубинский пер., д. 6, стр. 1

По всем интересующим вопросам обращайтесь по тел.: +7(495)276-7735
 Подробная информация на сайте www.naukapublishers.ru/history/partnership

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАНЕТ-ГИГАНТОВ МЕЖПЛАНЕТНЫМИ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ



ПЕТРУХИН Андрей Андреевич

11 Б, ГБОУ «Школа имени Артёма Боровика», Москва

Научный руководитель: доктор физико-математических наук

ЕМЕЛЬЯНОВ Николай Владимирович

Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга (ГАИШ)

DOI: 10.7868/5004439482401002X

ВВЕДЕНИЕ

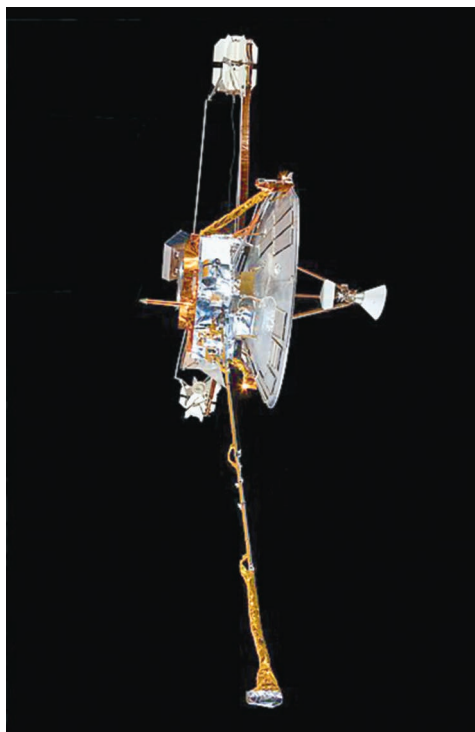
Наша Солнечная система включает восемь планет, множество комет, астероидов, метеороидов и межпланетную среду. За четырьмя планетами земной группы в порядке удаления от Солнца следуют четыре планеты-гиганта: Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун. В этой статье будет рассказано об исследовании планет-гигантов, их колец и спутников с помощью межпланетных космических аппаратов. Эти грандиозные исследования начались в 70-х годах прошлого века и продолжают до сих пор. Планируются новые космические миссии, ставятся новые задачи по исследованию внешней Солнечной системы.

ИССЛЕДОВАНИЯ ЮПИТЕРА

«Пионер-10» (1973–1974)

Вся история исследования внешней Солнечной системы – четырех планет-гигантов и их окрестностей – с помощью космических аппаратов (КА) началась с программы «Пионер» (*Pioneer*) – с КА «Пионер-10» и «Пионер-11».

Оба этих аппарата были созданы в NASA (National Aeronautics and Space Administration – Национальное управление по авиации и исследованию космического пространства, США). Их оборудование было одинаково: сканирующий фотополариметр (аналог фотокамеры), трехосевой гелиевый

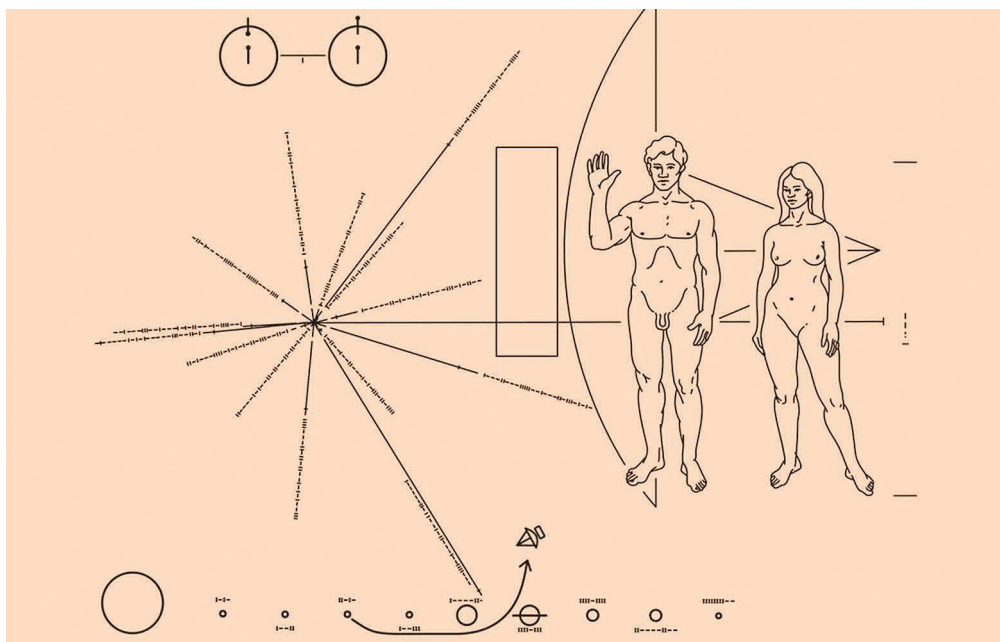


Космический аппарат «Пионер-10».

Источник: официальный сайт
Национального музея воздухоплавания
и аэронавтики

магнетометр, инфракрасный радиометр, анализатор плазмы, ультрафиолетовый фотометр, детекторы заряженных частиц, анализатор спектра космических лучей, счетчики Гейгера, детектор астероидов и метеороидов, а также детектор радиационных поясов. Поскольку оба аппарата должны были покинуть Солнечную систему, на них были установлены пластинки «Пионера», на которых в разном виде записаны данные о Земле и человечестве.

«Пионер-10» был запущен 2 марта 1972 года в 01:49 (по шкале UTC – всемирного координатного времени). Путь до Юпитера занял полтора года. Фотографирование планеты этим КА началось 6 ноября 1973 года,



Пластика «Пионера». Источник: NASA

а 26 ноября «Пионер-10» вошел в магнитосферу Юпитера. КА подошел к планете на самое короткое расстояние – около 130 354 км 4 декабря в 02:26 (UTC), пролетая на скорости 35 000 м/с (126 000 км/ч). К 31 декабря было сделано около 500 снимков атмосферы Юпитера с максимальным разрешением 320 км.

Были получены первые в истории фотографии с КА трех галилеевых спутников планеты: Европы, Ганимеда и Каллисто.

Миссия была объявлена завершенной 2 января 1974 года. Контакт с КА был потерян 23 января 2003 года. Итоги оказались следующими. В результате пролета были получены данные об атмосфере Юпитера, в его магнитном поле была зафиксирована плазма, а длина «хвоста» магнитного поля оказалась сравнимой с расстоянием от Юпитера до Сатурна – 800 млн км.

«Пионер-11» (1973–1974)

КА «Пионер-11» от предшественника ничем, кроме названия, не отличался. Он был запущен 6 апреля 1973 года в 02:11 (UTC). Вход в магнитосферу Юпитера состоялся 26 ноября 1974 года в 03:39 (UTC). Аппарат пролетел мимо южного полюса планеты 3 декабря на еще более коротком, чем «Пионер-10», расстоянии – 42 500 км над верхними слоями атмосферы. После гравитационного маневра у Юпитера миссия аппарата не закончилась – он полетел в сторону Сатурна и стал первым КА, пролетевшим возле этой планеты-гиганта. В результате пролета возле Юпитера были получены новые фотографии атмосферы этой планеты, включая первые фотографии южного полюса, а также новые фото галилеевых спутников. Было зафиксировано несколько входов и выходов из магнетосферы планеты, что свиде-



Снимок планеты Юпитер космическим аппаратом «Пионер-10». Источник: NASA

тельство о ее постоянном изменении из-за воздействия солнечного ветра.

«Вояджер-1» и «Вояджер-2» (1977)

После пролетов «Пионеров» интерес к исследованию внешних планет Солнечной системы сильно возрос. Изначально NASA запланировало миссию *Grand Tour* из четырех КА с большим набором аппаратуры, которая должна была одним пролетом исследовать Юпитер, Сатурн и, по возможности, Уран и Нептун. Однако из-за больших финансовых расходов на проект было решено сократить число КА до двух. В марте 1977 года программа получила название «Вояджер» (*Voyager*). Виды аппаратуры, установленной на «Вояджерах», практически не отличались от таковых на «Пионерах», из новшеств можно отметить систему фотокамер *Imaging Science System*.

Несмотря на порядковую нумерацию, первым был запущен КА «Вояджер-2». Это случилось 20 августа 1977 года в 14:29 (UTC). 5 сентября 1977 года в 12:56 (UTC) за ним последовал



Космический аппарат «Вояджер-2». Источник: NASA

и «Вояджер-1», который в процессе обогнал своего близнеца и первым пролетел мимо Юпитера. Вход в систему Юпитера состоялся 10 февраля 1979 года, а 5 марта в 12:05 (UTC) аппарат пролетел на расстоянии 280 000 км от верхних слоев атмосферы планеты. После пролета Юпитера «Вояджер-1» был направлен к Сатурну. Открытия, сделанные аппаратом, оказались куда более существенными, чем те, что были сделаны «Пионерами».

Так были получены более детальные фотографии галилеевых спутников, а также спутника Амальтея. Особое внимание привлек Ио, на котором была обнаружена вулканическая активность, в разы превышающая земную, и из-за которой поверхность спутника окрашена в желтые, оранжевые и коричневые цвета. Было открыто два внутренних спутника Юпитера: Метида и Теба. Также оказалось, что Юпитер обладает и системой колец, правда очень тусклой – открытое «Вояджером-1» кольцо в толщине составляло менее 30 м. Атмосфера планеты на сериях фотографий предстает куда более турбулентной, чем на снимках «Пионеров».

«Вояджер-2» достиг системы Юпитера через месяц после отбытия «Вояджера-1», 24 апреля 1979 года. 9 июля состоялось максимальное сближение аппарата с планетой: пролет на расстоянии 205 720 км. После этого КА направился к Сатурну. Благодаря несколько иной траектории полета «Вояджеру-2» удалось детальнее изучить спутники Юпитера, в особенности Европу и Ио. На базе снимков двух аппаратов были составлены карты 80% поверхностей

спутников Ганимеда и Каллисто с разрешением в 5 км. Были получены новые данные об атмосфере и кольцах Юпитера, а на фотографиях стали заметны значительные изменения в атмосфере, включая переменчивость размера и цвета полей Юпитера, галилеевых спутников и Амальтея.

«Галилео» (1995–2003)

После пролетов «Вояджеров» в NASA начались работы по созданию КА для выхода на орбиту вокруг Юпитера. Итогом этого проекта стал «Галилео» (*Galileo*), который состоял из двух частей: спутника для исследования системы Юпитера с орбиты и спускаемого зонда для исследования атмосферы Юпитера. Аппарат имел больше инструментов для исследования планеты, чем «Вояджеры» и «Пионеры»: фотокамера *Solid State Imager*, инфракрасный и ультрафиолетовый спектрометры, фотополяриметр, радиометр, магнетометр, детекторы энергетических частиц, плазмы и тяжелых заряженных частиц, а также датчик космической пыли. На спускаемом зонде устанавливались инструменты для анализа

атмосферы, спектрометр, интерферометр, радиометр, нефелометр для измерения концентрации или размера частиц по интенсивности рассеянного света и прибор для регистрации молний и потоков излучения в атмосфере.

КА «Галилео» был выведен на орбиту 18 октября 1989 года с помощью шаттла «Атлантис». Перед выходом на траекторию к Юпитеру, КА совершил несколько пролетов других объектов: Венеры, Земли (дважды), астероидов 951 Гаспра и 243 Ида. 11 апреля 1991 года при попытке раскрыть основную антенну произошла ошибка, и поэтому КА смог передавать данные лишь по второй, маломощной антенне. В июле 1994 года аппарат смог запечатлеть столкновение кометы Шумейкера-Леви 9 с Юпитером. 13 июля 1995 года спускаемый зонд отделился от аппарата. Его вход в атмосферу Юпитера состоялся 7 декабря 1995 года в 22:04:44 (UTC). Передача данных осуществлялась в течение 58 минут. 8 декабря в 00:27 (UTC) КА вышел на орбиту Юпитера.

Миссия «Галилео» продлевалась дважды: сначала до 1999 года (*Galileo Europa Mission*), а затем до 2003 года (*Galileo Millenium Mission*). Миссия аппарата завершилась 21 сентября 2003 года в 18:57 (UTC): «Галилео» сгорел в атмосфере Юпитера.

Благодаря длительному (около 7 лет) изучению Юпитера было получено огромное число новых данных о планете и ее спутниках. Спускаемый зонд обнаружил относительно небольшое число молний и водяного пара в атмосфере, а массовая доля гелия оказалась схожей с таковой у Солнца (24 и 25 процентов соответственно). Были составлены новые карты Ио, поскольку составленные «Вояджерами» устарели из-за вулканической активности спутника. У Европы были обнаружены указания на наличие подледного океана, а также

наличие на поверхности филлосиликатов. У Ганимеда было обнаружено собственное магнитное поле. Была уточнена плотность спутника Амальтея.

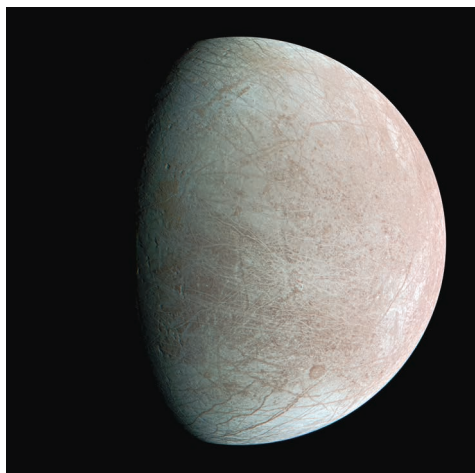
«Кассини-Гюйгенс» и «Новые горизонты» (2000 и 2007)

Эти два КА не предназначались для исследования Юпитера как основной цели и использовали планету в первую очередь для гравитационного маневра. Первый аппарат, «Кассини-Гюйгенс» (*Cassini-Huygens*), был запущен 15 октября 1997 года и предназначался для исследования Сатурна. Пролет этого КА мимо Юпитера состоялся 30 декабря 2000 года на расстоянии 9.7 млн километров от атмосферы планеты. Из полученных достижений можно отметить детальную карту атмосферы Юпитера, превосходившую по качеству снимки других спутников, включая «Галилео».

Второй аппарат, «Новые горизонты», предназначался для исследования Плутона и объектов пояса Койпера с пролетной траектории, его запуск состоялся 19 января 2006 года. Его пролет мимо Юпитера произошел 28 февраля 2007 года в 05:43 (UTC). Этому КА удалось заснять извержение вулкана на Ио, а также обновить данные об атмосфере, спутниках и кольцах Юпитера.

«Юнона» (с 2016)

«Юнона» (*Juno*) является действующим КА на орбите вокруг Юпитера. В отличие от предыдущих аппаратов, «Юнона» почти не осуществляет исследований спутников Юпитера, ее миссия сконцентрирована на исследовании самой планеты. Оборудование этого КА составляют: измеритель гравитационного поля, микроволновый радиометр, векторный магнетометр, детекторы плазмы и энергетических частиц, ультрафиолетовый и инфракрасный спектрометры, а также камера *JunoCam*.



Снимок Европы (спутника планеты Юпитер), полученный космическим аппаратом «Юнона». Источник: NASA

Запуск «Юноны» состоялся 5 августа 2011 года в 16:25 (UTC). Вход в гравитационное поле Юпитера состоялся 27 мая, а 30 июня аппарат вошел и в магнитосферу планеты. В течение июля были включены все научные инструменты. Орбита спутника была окончательно установлена 17 февраля 2017 года. Основная миссия «Юноны» завершилась 1 августа 2021 года, после чего началась дополнительная. По состоянию на 28 января 2023 года аппарат совершил 48 оборотов вокруг Юпитера. С 2019 по 2021 год состоялось также три близких пролета мимо Ганимеда (ближайший состоялся 7 июня 2021 года) и один мимо Европы (29 сентября 2022 года). В результате этих пролетов были в том числе получены наиболее детальные фотографии этих спутников. По планам NASA миссия «Юноны» завершится после 76 пролета в сентябре 2025 года.

Среди новых открытий, сделанных «Юноной», можно отметить получение наиболее детальной карты магнитосферы Юпитера. Среди прочего

было обнаружено Большое синее пятно. Несмотря на название, оно не является ураганом, как Большое красное пятно. Синее пятно представляет собой аномалию в магнитном поле возле экватора Юпитера. Это пятно движется в восточном направлении со скоростью около 4 см/сек. Таким образом, его орбитальный период составляет около 350 лет. Также было установлено наличие большего количества воды в атмосфере возле экватора, чем у полюсов. Возле северного полюса планеты было обнаружено 8 штормов, движущихся вокруг центрального шторма. Было установлено, что Большое красное пятно уходит вглубь атмосферы на 350 км. Поскольку миссия «Юноны» еще не завершена, в ближайшие годы могут появиться новые открытия.

Перспективы исследования Юпитера и его спутников

По состоянию на январь 2023 года к Юпитеру уже готовятся три новые миссии. Европейское космическое агентство (ЕКА) планирует отправить миссию JUICE (*Jupiter Icy Moons Explorer*) для исследования трех спутников Юпитера: Европы, Ганимеда и Каллисто. Запуск должен состояться с 14 по 30 апреля 2023 года, а Юпитера аппарат должен достигнуть после нескольких пролетов Земли, Луны, Венеры и астероида 223 Роза в июле 2031 года. NASA также готовит миссию для изучения Европы – *Europa Clipper*. Ее запуск должен состояться 10 октября 2024 года, а Юпитера аппарат должен достигнуть 11 апреля 2030 года. Китайское национальное космическое управление (CNSA) в 2029 году планирует запуск КА «Тяньвэнь-4», который должен выйти на орбиту Юпитера в августе 2035 года.

ИССЛЕДОВАНИЯ САТУРНА

«Пионер-11» (1979)

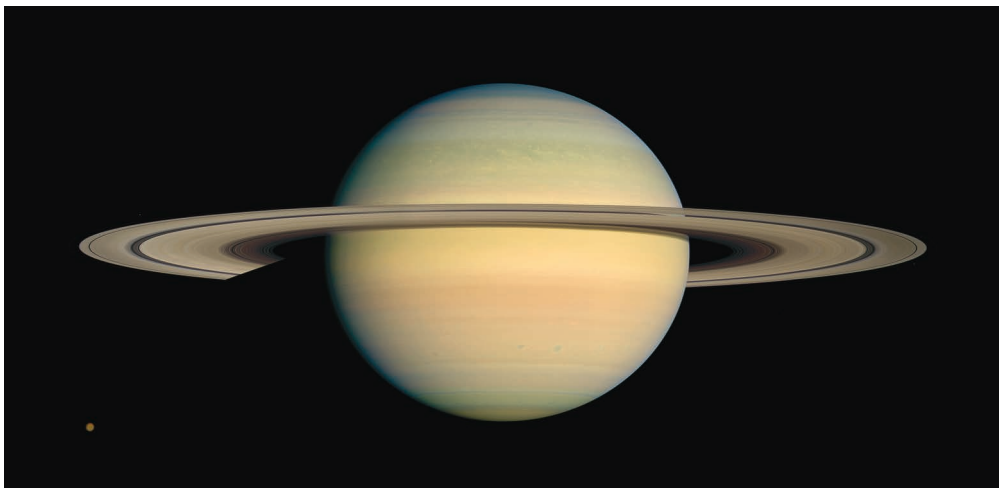
После пролета Юпитера «Пионер-11» направился по траектории к Сатурну. Пролет мимо планеты состоялся 1 сентября 1979 года. Аппарат сделал более 440 снимков системы Сатурна, среди которых – первые фотографии Титана, крупнейшего спутника планеты. Были получены данные о температуре в атмосфере этого спутника: -193°C . «Пионер-11» открыл новое кольцо Сатурна, получившее название F. Внутренняя температура планеты составила -180°C , а атмосфера, по данным с аппарата, состоит в основном из жидкого водорода. После пролета Сатурна аппарат начал покидать Солнечную систему, последний контакт с ним состоялся 30 сентября 1995 года.

«Вояджер-1» (1980–1981)

В то время, когда «Пионер-11» исследовал Сатурн, «Вояджеры» уже завершили пролеты мимо Юпитера и также направлялись к Сатурну. Пролет «Вояджера-1» мимо планеты состоялся 12 нояб-

ря 1980 года. Аппарат был направлен на такую траекторию, чтобы он мог детально исследовать Титан. Было обнаружено 3 новых спутника: Пандора, Прометей и Атлас, а также подтверждено наличие двух спутников на одной орбите: Эпиметей и Янус. Помимо новых спутников, было обнаружено кольцо G. Были детально засняты крупнейшие спутники планеты: Титан, Мимас, Энцелад, Тефия, Диона и Рея. По данным с КА, все крупные спутники Сатурна в основном состоят из льда. Детальное исследование Титана показало, что его плотная атмосфера на 90% состоит из азота. Давление на поверхности оказалось больше земного: 1.6 атмосфер. Данные по температуре отличались от полученных «Пионером-11»: -180°C . Были получены данные о химическом составе атмосферы: помимо азота в ней были обнаружены метан и комплексные гидрокарбонаты, что означало вероятность протекания там пребиотических химических реакций. Были обнаружены доказательства наличия жидкости на спутнике. После пролета Сатурна аппарат завершил исследование планет в Солнечной

Изображение планеты Сатурн, полученное космическим аппаратом «Кассини»





Изображение поверхности Титана, полученное спускаемым аппаратом «Гюйгенс». Источник: NASA

системе и стал ее покидать. По состоянию на январь 2023 года аппарат все еще работает и передает данные на Землю, находясь от нее на расстоянии 159 а. е.

«Вояджер-2» (1980–1981)

26 августа 1981 года мимо Сатурна пролетел и «Вояджер-2». Его траектория отличалась от близнеца, поскольку планировался пролет мимо Урана и Нептуна. Во время пролета «Вояджер-2» столкнулся с проблемой: пролетая мимо колец Сатурна, аппарат наткнулся на

большое число мелких частиц из колец. Для стабилизации система автоматически несколько раз запускала двигатели. В результате пролета мимо колец была установлена толщина кольца А: 300 м. Впоследствии на базе данных КА была точно определена орбита одного из внешних спутника Сатурна – Фебы. После пролета Сатурна аппарат был направлен к Урану.

«Кассини-Гюйгенс» (2004–2017)

«Кассини-Гюйгенс» является совместной разработкой NASA и ЕКА. Он состоял из двух частей: орбитальный спутник «Кассини-2», разработанный NASA, и спускаемый в атмосферу Титана зонд «Гюйгенс», разработанный ЕКА. Миссия была очень дорогостоящей, а потому в обе части КА было встроено множество различных инструментов. Среди них: анализатор космической пыли, различные спектрометры (в видимом спектре, инфракрасный, спектрометр плазмы, радиоволн), фотокамера, радар, ультрафиолетовый спектрограф, инструмент для получения изображения магнитосферы и магнетометр. Зонд «Гюйгенс» был оборудован следующей аппаратурой: инструмент для исследования атмосферы, хроматограф, сборщик аэрозолей и пиролизер (универсальный инструмент для анализа полимеров, нерастворимых образцов и широкого спектра соединений), спектральный радиометр, фотокамера, набор приборов для исследования поверхности и прибор для измерения эффекта Доплера.

Запуск аппарата состоялся 15 октября 1997 года. После вышеупомянутого пролета Юпитера «Кассини» вошел в систему Сатурна в мае 2004 года. 25 декабря «Гюйгенс» отделился от «Кассини» и 14 января 2005 года опустился на поверхность Титана, передавая данные в течение 5.5 часов. В 2008 году миссия «Кассини» была

продлена до 2010 года, а после ее окончания – до 2017 года. «Кассини» оставался на орбите Сатурна до 15 сентября 2017 года, когда после 293 оборотов вокруг него был намеренно спущен в атмосферу газового гиганта.

За 13 лет при помощи аппарата было совершено множество открытий и получено много новых данных о Сатурне, его спутниках и кольцах. Было открыто несколько новых спутников: Мефона, Паллена, Полидевк, Дафнис, Анфа, Эгеон и пока не названный спутник S/2009 S1. Благодаря спускаемому зонду были получены новые данные о поверхности и атмосфере Титана. Поверхность, на которую приземлился «Гюйгенс», была похожа на песок, но состояла из мелких крупинок льда.

На ней также присутствовала галька, что свидетельствовало о недавнем воздействии жидкости на поверхность. Сама жидкость, заполнявшая моря и озера Титана, является либо этаном, либо метаном, зависит от водоема. В 2016 году ЕКА объявило о том, что морское дно на спутнике покрыто чем-то вроде шлама, богатого органическими веществами. На основе данных с зонда «Гюйгенс» и аппарата «Кассини» была получена информация о циркуляции облаков в атмосфере спутника и составлена математическая модель этой циркуляции, способная предсказывать, где облака могут появиться в будущем.

Помимо Титана, «Кассини» удалось исследовать еще один спутник Сатурна – Энцелад. В результате пролета на расстоянии 50 км от поверхности спутника в марте 2008 года аппарату удалось зафиксировать мощные гейзеры, вырывающиеся из-под поверхности. В содержимом из гейзеров были обнаружены вода и углекислый газ. Более поздние пролеты и исследования криовулканической активности на спутнике показали наличие органических веществ. В апреле 2014 года

было объявлено о наличии на глубине 10 км от поверхности спутника подповерхностного океана глубиной от 30 до 40 км и о том, что в этом океане может быть микроскопическая жизнь. К июлю 2014 года на спутнике был обнаружено более сотни различных гейзеров. Было также установлено, что за счет криовулканизма Энцелад образует и поддерживает вокруг Сатурна кольцо E.

На самом Сатурне «Кассини» обнаружил за 13 лет несколько интересных атмосферных явлений. Одним из них является шестиугольный шторм вокруг северного полюса планеты. С 2012 по 2017 год аппарат наблюдал изменение цвета шторма с голубоватого на золотистый. С 2010 по 2012 год «Кассини» наблюдал на планете редкое (но не в первый раз наблюдаемое) явление – Большое белое пятно. Этот шторм оставлял за собой белый след. В 2012 году шторм исчез. До этого его несколько раз наблюдали с Земли: в 1876, 1903, 1933, 1960, 1990, 1994 и 2006 годах.

Будущие исследования Сатурна

В настоящее время собственно к Сатурну не планируется никаких миссий. Однако планируется одна миссия для исследования Титана, получившая название *Dragonfly*. Сам КА будет представлять собой винтокрылый летательный аппарат, способный летать на расстояние до 8 км. Запуск ожидается в июне 2027 года, а прибытие на Титан – в 2036 году. Основной задачей ставится поиск микробной жизни или хотя бы первичного бульона, а также исследование поверхности Титана.

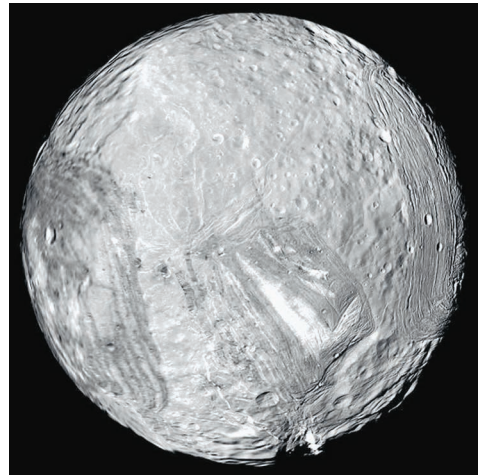
ИССЛЕДОВАНИЯ УРАНА

«Вояджер-2» (1986)

«Вояджер-2» на 2023 год все еще остается единственным КА, проводившим исследование Урана и Нептуна с близ-



Планета Уран. Снимок космического аппарата «Вояджер-2».
Источник: NASA



Миранда, спутник планеты Уран. Снимок получен космическим аппаратом «Вояджер-2». Источник: NASA.

кого расстояния. Пролет мимо ледяного гиганта состоялся 24 января 1986 года (при этом исследование аппаратом планеты началось 4 ноября 1985 года).

Было открыто 10 новых спутников: Пак, Порция, Джульетта, Крессида, Розалинда, Белинда, Дездемона, Корделия и Офелия – все названы в честь персонажей из произведений Шекспира. Через 10 лет после этого на основе снимков аппарата открыли еще один спутник – Пердиту. Были вычислены точные орбиты крупных спутников и их массы. Помимо этого, было открыто два новых кольца и наклоненное на сорок пять градусов магнитное поле. Сам Уран на фотографиях «Вояджера-2» представлял собой невыразительную планету голубоватого цвета. Несмотря на это в атмосфере были обнаружены сильные ветры, скорость которых достигает 724 км/ч (201 м/с), а на глубине около 800 км может располагаться океан.

Особый интерес вызвал самый маленький из крупных спутников планеты – Миранда. Миранда обладает край-

не неровной и прерывистой поверхностью с множеством разломов, кратеров, хребтов и трещин.

Будущие исследования Урана

В настоящее время нет ни одной планируемой миссии к Урану, есть лишь проекты таких миссий. Один из них, *Uranus orbiter and probe*, был предложен в публикации «Planetary Science Decadal Survey» в качестве главной планетарной миссии NASA в период 2023–2032 годов. Если миссия будет одобрена, то старт должен произойти в 2031 году, а Урана аппарат должен достигнуть в 2044 году.

ИССЛЕДОВАНИЯ НЕПТУНА

«Вояджер-2» (1989)

Как уже сказано выше, «Вояджер-2» до сих пор является единственным аппаратом, исследовавшим Нептун вблизи. Пролет мимо восьмой планеты состоялся 25 августа 1989 года. Аппарат открыл шесть новых спутников (Протей,



Планета Нептун. Снимок получен космическим аппаратом «Вояджер-2». Источник: NASA

Ларисса, Деспина, Галатея, Таласса и Наяда) и четыре новых кольца. Сама планета по сравнению с Ураном оказалась куда более выразительной. Ветры в атмосфере, по данным аппарата, дуют со скоростью 2200 км/ч (600 м/с). В атмосфере планеты основным элементом оказался водород, но, благодаря содержанию метана, атмосфера имеет темно-синий оттенок. Самым интересным атмосферным явлением оказалось Большое темное пятно. По аналогии с земными атмосферными явлениями, оно может быть классифицировано, как большой антициклон. Помимо Большого темного пятна, было обнаружено аналогичное Малое темное пятно, а также облако, названное Скутер. «Вояджеру-2» удалось исследовать и самый крупный спутник планеты – Тритон. На спутнике был обнаружен криовулканизм, а также крайне разряженная атмосфера из азота.

На исследовании Нептуна и его системы основная миссия «Вояджера-2» завершилась.

Аппарат направился на траекторию вылета из Солнечной системы, покинув гелиосферу в 2018 году. По состоянию на февраль 2023 года он находится на расстоянии 133 а. е. от Земли.

Будущие исследования

В отличие от Урана, к Нептуну нет даже предложенных миссий. В 2020 году в рамках программы *Discovery* была предложена миссия *Trident*, которая должна исследовать Нептун и Тритон с пролетной траектории. Запуск должен был состояться 25 октября 2025 года, а Нептуна аппарат должен был достигнуть 28 июня 2038 года. В 2021 году вместо него были выбраны аппараты DAVINCI+ и VERITAS для исследования Венеры.

Литература

1. Asif A. Siddiqi. Beyond Earth: A Chronicle of Deep Space Exploration, 1958–2016 // National Aeronautics and Space Administration, Office of Communications, NASA History Division, 2018. P. 372.
2. Tony Greicius. NASA's Juno to Get a Close Look at Jupiter's Moon Ganymede // NASA. URL: <https://www.nasa.gov/feature/jpl/nasa-s-juno-to-get-a-close-look-at-jupiter-s-moon-ganymede> (дата обращения: 28.01.2023).
3. Pascal Rannou, Jean-Pierre Lebreton. Predicting the weather on Titan? // The European Space Agency. URL: https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Cassini-Huygens/Predicting_the_weather_on_Titan (дата обращения: 08.04.2023).
4. Ralph D. Lorenz et al. Dragonfly: A Rotorcraft Lander Concept for Scientific Exploration at Titan // Johns Hopkins APL Technical Digest (Applied Physics Laboratory). 2018. No. 34. P. 374–387.
5. R.A. Jacobson, J.K. Campbell, A.H. Taylor, S. P. Synnot. The masses of Uranus and its major satellites from Voyager tracking data and Earth-based Uranian satellite data // The Astronomical Journal. 1992. No. 6. P. 2068–2078.
6. R.A. Jacobson. Triton and Nereid astrographic observations from Voyager 2 // Astronomy and Astrophysics Supplement Series. 1991. No. 90. P. 541–563.

МАРС ПОДАЕТ ПРИЗНАКИ ЖИЗНИ

ГОВОРОВА Анна Феликсовна,

кандидат географических наук

Московский государственный университет им М.В. Ломоносова,
Географический факультет

DOI: 10.7868/50044394824010031



Молодой Марс был очень похож на раннюю Землю. С большой долей вероятности планетологи говорят о том, что в определенный промежуток времени до 3.6 млрд лет назад климат на Марсе был теплым и влажным, атмосфера достаточно плотной и мощной, на поверхности текли реки, формировались озера, а какое-то время существовал даже океан (Ivanov, 2017; Clifford, 2001; Farley, 2022). Именно тогда там могла появиться жизнь. Во всяком случае, если мы правильно понимаем палеоисторию Марса и условия, необходимые для возникновения жизни, ничего этому не препятствовало.

Поиски признаков жизни на Марсе начались в 70-х годах XX века. Это была знаменитая программа NASA Viking с тремя экспериментами – GEX, Pyrolytic Release, Labelled Release ^{14}C . Однако, поскольку результаты всех трех экспериментов были неоднозначными, на долгое время жизнь на Марсе искать перестали.

Новый интерес к этому вопросу появился после того, как в 1999 году в атмосфере планеты обнаружили метан. Это стало настоящей сенсацией. Ведь метан образуется в основном биогенным путем, поэтому возможно, что его выделяли живые организмы. Означает ли это, что Марс подает признаки жизни?

В настоящее время на орбите Марса работает несколько спутников – ODY, ME_x, MRO, MOM, MAVEN, E_{xo}Mars TGO, Tianwen-1, HOPE; поверхность планеты изучают три ровера – *Curiosity*, *Perserverance*, *Zhurong*, совсем недавно закончила свою работу миссия *InSight* (2018–2022). Ведет наблюдения, в том числе и за Марсом, орбитальный телескоп JWST. К сожалению, прекратил свое существование E_{xo}Mars 2022. Новые проекты есть у Европейского космического агентства.

На этих миссиях проводятся комплексные исследования, в том числе и по поиску современных форм жизни. Одно из больших направлений этих исследований – изучение поведения метана на Марсе.

МОЛОДОЙ МАРС

Как и другие планеты земной группы, Марс образовался из протопланетного облака примерно 4.6 млрд лет назад. Как и на других планетах земной группы, в процессе постепенного остывания на Марсе шла дегазация магмы. Поэтому, скорее всего, первичный состав его атмосферы был очень похож на состав первичной атмосферы Земли.

Как и на Земле, на молодом Марсе активно извергались вулканы и шла интенсивная метеоритная бомбардировка. Диаметр некоторых метеорит-

Для астробиологов метан, обнаруженный во внеземных системах (на различных космических телах), представляет большой интерес как биомаркер. Ведь на Земле этот газ образуется в основном биогенным путем, его синтезируют метаногенные археи – древнейшие, возможно, самые древние земные организмы.

Метан в различных концентрациях обнаружен на многих телах Солнечной системы – как на планетах земного типа, так и на планетах-гигантах, включая некоторые из их спутников, и даже на некоторых карликовых планетах и астероидах. Но вряд ли можно говорить о том, что там он имеет биогенное происхождение.

Существование метана в марсианской атмосфере как биомаркера особенно интригующе по трем основным причинам. Во-первых, климатические условия современного Марса и особенно в его подповерхностных экосистемах в значительной степени сходны с условиями в различных холодных и крио-системах Земли, где метаногены могут выживать и развиваться. Во-вторых, в атмосфере Марса метан должен неизменно расщепляться в результате различных фотохимических процессов и, следовательно, его постоянное наличие там предполагает существование его постоянного источника. В-третьих, скорее всего, в истории молодого Марса был период, когда на его поверхности существовала жидкая вода и были благоприятные условия для возникновения жизни (Kotsyurbenko O.R., 2020).

ных кратеров на Марсе достигал огромных размеров – нескольких сотен километров. Тепловая энергия от ударов метеоритов закачивалась в кору планеты. В результате в коре формировались тепловые аномалии, которые могли существовать долгое время. Есть предположение, что благодаря этому внутреннему теплу на Марсе могли образоваться геотермальные источники. А поскольку существует гипотеза, что жизнь зародилась на Земле именно в таких источниках, их появление на Марсе имеет большое значение – ведь жизнь вполне могла появиться и там. Тепловая энергия могла поддерживать существование водоносных подземных горизонтов в периоды марсианских оледенений, которые наступили уже позже. И жизнь, если она успела появиться на Марсе, могла найти там убежище.

ПЕРИОД ТЕПЛОГО И ВЛАЖНОГО МАРСА

Все это происходило в ноахийский период – самый древний в истории Марса, который начался с момента образо-

вания планеты и закончился примерно 3.6 млрд лет назад. Если жизнь на Марсе и могла когда-то появиться, то именно в этот промежуток времени.

Существуют подтверждения того, что в середине ноахийского периода на протяжении примерно 500 млн лет на поверхности Марса формировались целые речные системы с дельтами, руслами, напоминающими земные, наполнялись водой озера, а климат был теплым и влажным.

На фрагменте глобальной фотомозаики, полученной тепловым спектрометром THEMIS (Mars Odyssey), видно, как небольшие русла сливаются в более крупные, некоторые из них впадают в углубления ударных кратеров, там образуются озера.

В настоящее время планетологи с большой долей уверенности говорят о том, что марсианские речные русла были образованы жидкой водой, а питали эти реки атмосферные осадки.

Русла древних небольших марсианских рек формировали дентритовую (разветвленную) структуру, типичную для земных рек. Кроме того, некоторые русла формировали дельты.



Снимок предположительно древнего русла марсианской реки с притоками. Сделан аппаратом THEMIS (Thermal Emission Imaging System), установленном на орбитальной станции Mars Odyssey (NASA)

Эти структуры хорошо видны на снимках. А дельты образуются только водой, лед такое не оставляет. Другое доказательство существования рек в то время – это обнаружение с помощью инфракрасного картирующего спектрометра Омега (Mars Express) на поверхности Марса глин, которые, как правило, связаны с древними породами ноахийского возраста. А глины образуются, например, из базальтов при их водной переработке. Для образования глин, во-первых, нужна вода. Во-вторых, должно быть тепло. И pH должен быть близким к нейтральному. Все это дало основание говорить о том, что присут-

ствие глинистых минералов в ноахийских породах – свидетельство того, что в то время на Марсе была жидкая вода, а на поверхности было тепло и влажно.

«Однако был ли климат теплым и влажным в этот период на всем Марсе, или теплые и влажные области существовали локально в определенных областях, это пока большой вопрос», – говорит Михаил Иванов, доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией сравнительной планетологии Института геохимии и аналитической химии имени В.И. Вернадского РАН.

По-видимому, одновременно с речной системой, формировалась и сеть подземных вод Марса, которая, возможно, сохранилась и до настоящего времени.

Еще одно доказательство существования воды на Марсе – карбонаты, для образования которых необходима вода. Карбонатные отложения на Марсе обнаружили с помощью спектрометра CRISM (Compact Reconnaissance imaging Spectrometers for Mars) на аппарате MRO. Правда, нашлось их, по сравнению с теоретическими расчетами, совсем немного. Но этому есть объяснение. «На самом деле, не нужно ожидать на Марсе больших карбонатных отложений. Ведь на Земле абсолютное большинство карбонатов имеет биогенное происхождение – это кораллы. Вряд ли можно говорить о коралловых отложениях Марса. В океане есть абиогенные, хемогенные карбонатные отложения, но не повсеместно и не в больших объемах. На Марсе мы имеем дело с такими же карбонатными отложениями. Их и не должно быть много. Затем важно учитывать, что даже точные спектрометры меряют состав тонкого слоя поверхности Марса. Стоит перекрыть этот слой пылью, что обычно для Марса, и приборы не увидят, что находится под слоем этой пыли. Там, где пыль

Доказательство существования воды на Марсе

В 2004 году в районе плато Меридиана было сделано еще одно важное открытие, подтверждающее существование рек на поверхности Марса в прошлом. С помощью мессбауэрского спектрометра, установленного на борту марсохода Opportunity, были найдены минералы – гематит и ярозит, которые формируются лишь в присутствии жидкой воды. Гематит был обнаружен в виде серых небольших шариков – их назвали «черникой» – на поверхности ударного кратера Игл на плато Меридиана. На этом же плато был найден и ярозит.

В 2021 г. в районе кратера Езеро в месте отложений древней речной дельты начал работать марсоход Perseverance. Первые результаты работы марсохода показали, что дно кратера сложено магматическими породами, которые затем видоизменились в результате взаимодействия с водой. То есть, скорее всего, на месте кратера было озеро, заполненное водой, которую приносила река.

удаляется ветром, например к северу от плато Большой Сырт, спектральные данные позволяют анализировать состав пород. В таких местах и были обнаружены марсианские карбонатные отложения», – говорит Михаил Иванов.

Если в ноахийский период на поверхности Марса существовала жидкая вода, это означает, что там были и условия для зарождения жизни. Если же такие условия просуществовали на протяжении более 500 млн лет, тогда там по аналогии с Землей, могли появиться первые микроорганизмы. По крайней мере, по существующим представлениям, ничего этому не препятствовало.

УДАР, РАЗДЕЛИВШИЙ МАРС

Предположительно, в конце ноахийского периода на Марсе произошла катастрофа, которая была настолько сильной, что разделила планету на две огромные области в масштабе полушарий. Скорее всего, это был удар или столкновение с очень крупным небесным телом, возможно, метеоритом или несколькими метеоритами, которые выбили из северной части Марса всю верхнюю часть коры, в результате она опустилась примерно на 4 км.

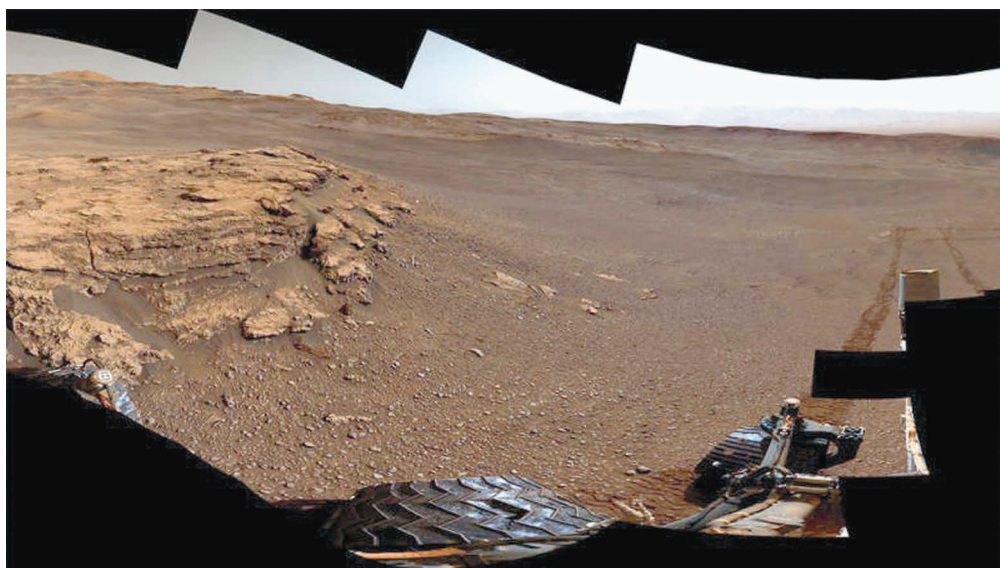
Такая явная дихотомия Марса, как говорят геологи, – известна уже давно. Но вот, что стало причиной такого разделения – вопрос.

В 1994 году Норман Слип предложил гипотезу, согласно которой, на раннем Марсе существовала тектоника плит, и в этом случае северные равнины выступали аналогом океанического дна Земли, а южная часть – континентальной земной коры, поэтому одна часть была опущена, а другая приподнята.

Однако гипотеза Слипа не получила подтверждения, более того, появились данные, противоречащие ей.

Современная геология объясняет дихотомическое строение Марса ударом одного или нескольких крупных метеоритов. Ударную гипотезу предложили в 1986 году Дон Вильгельмс из Геологической службы США и профессор Стивен Сквайриз. Впоследствии именно это направление получило развитие.

«Марс разделен на две абсолютно разные в геологическом плане области. На южной части находится больше ударных кратеров, геологически она более древняя... Северная часть более молодая, включает обширные равнины, вулканические кальдеры и другие вулканические формы рельефа. За исключением регионов Фарсида и Элизий, большая часть этой области состоит из



Глинистые породы, сформированные предположительно водой в районе «Teal Ridge», обнаруженные в 2019 году ровером Curiosity (NASA)

низменностей, которые в среднем находятся ниже на 3 км более приподнятой южной части. Эта низменность занимает примерно 1/3 поверхности Марса. Южную и северную часть разделяет переходная зона протяженностью примерно 700 км, где определенным образом смешивается материал равнинной и приподнятой части. Аналогов подобных форм рельефа не встречается ни на одной планете. Мы полагаем,

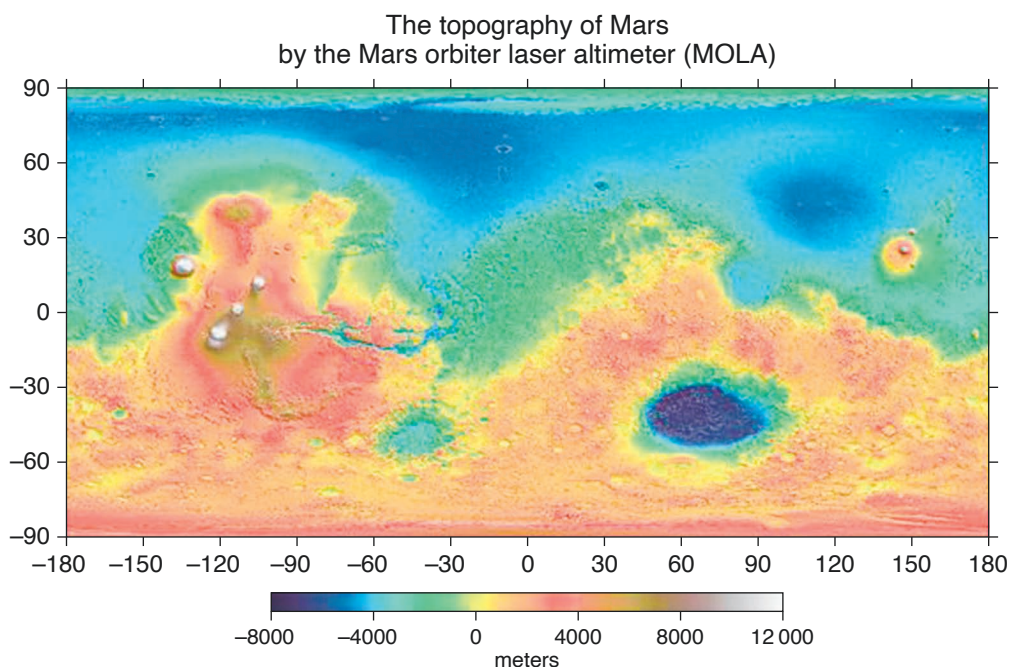
что эта северная низменность Марса образовалась в следствие мощнейшего удара метеорита», – пишут Дон Вильгельмс и его коллеги.

Гипотеза Дона Вильгельмса прорабатывалась и уточнялась много раз. Планетологи находят все больше доказательств того, что северные равнины – это гигантский кратер и не находят свидетельств существования на Марсе тектоники плит в прошлом.

Например, Джеффри Эндрюс-Ханна и его коллеги из Массачусетского технологического института (MIT) и лаборатории реактивного движения при Калифорнийском технологическом институте на основе данных, полученных с орбитальных станций Mars Reconnaissance Orbiter и Mars Global Surveyor, сравнили толщину марсианской коры в районе северных равнин и южных материков.

Объединив данные с точных спутниковых высотомеров и гравиметров, измеряющих напряженность поля тяготения, авторы выяснили, что граница тонкой и более мощной коры проходит как раз в зоне, разделяющей северные равнины и южный материк.

Авторы полагают, что возвышенные участки Аравийской Земли (Arabia Terra) на границе южного материка и северных равнин напоминают выбросы крупного ударного бассейна, но, однако, отмечают, что эта интерпретация – гипотетическая, тогда как вывод о толщине коры подкрепляется реальными измерениями на поверхности Марса.



Топографическая карта Марса. Дихотомия северного и южного полушария хорошо заметна по разнице высот поверхности (NASA)

Френсис Ниммо и его коллеги из Университета Калифорнии в Санта-Крузе и Лондонского Университета имени королевы Марии решили пойти еще дальше и выяснить, какова была сила удара, способного так сильно деформировать поверхность Марса. Планетологи построили модель, которая показала, что удар от метеорита или астероида, упавшего на северную область Марса, мог быть настолько сильным, что пробил не только кору и мантию, но затронул и ядро, а энергия такого удара составила гигантскую цифру – около сотни триллионов мегатонн в тротиловом эквиваленте.

Удар крупного небесного тела не только разделил Марс на две части, но и привел к другой катастрофе. По-видимому, само столкновение замедлило конвекционные процессы в марсианском ядре, поэтому постепенно стала уменьшаться мощность его магнитного поля.

КАК ЗАМЕРЗАЛ МАРС

И тогда катастрофические события посыпались на Марс одно за другим.

Без защиты магнитного поля поток плазмы солнечного ветра стал подхва-

тывать и уносить в космическое пространство атомы из его атмосферы. Она становилась все более разреженной, ослабевал парниковый эффект.

В результате наступило похолодание: средняя температура упала ниже 0. Марс замерзал. Слой мерзлоты под его поверхностью разрастался, а на поверхности стали формироваться ледники и проявляться различные флювиогляциальные процессы.

Именно тогда на Марсе образовались одни из самых впечатляющих геологических структур, аналогов которым нет

ни на одной планете – так называемые каналы истечения. Это гигантские каньоны длиной многие сотни километров, шириной несколько сотен километров, а глубиной 1–2 км.

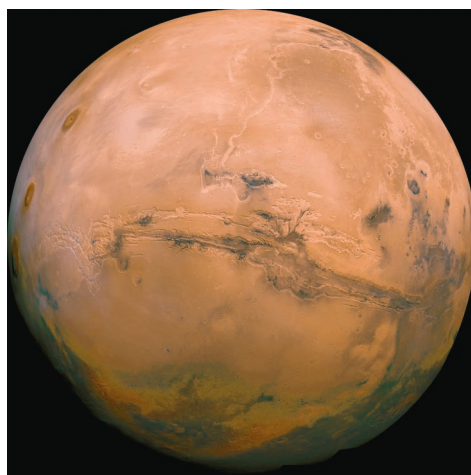
Крупнейшая система каналов истечения находится в северном полушарии Марса вокруг равнины Хриса на границе южных материков и северных равнин. Морфология каналов показывает, что формировались они, скорее всего, за счет быстрого течения воды.

МАРСИАНСКИЙ ОКЕАН

«Существует гипотеза, что при похолодании климата и промерзании коры Марса происходило катастрофическое истечение воды из водоносных горизонтов в приэкваториальной зоне, там, где периодически происходило оттаивание. Такое высвобождение воды, вероятно, привело к формированию каналов истечения и в конечном итоге к заполнению низменностей северных равнин водой и образованию там крупного скопления воды – Марсианского океана. Он был совсем не похож на земной океан. Это был огромный резервуар, заполненный смесью воды и грязи, которую принесли мощные потоки, прорезавшие каналы истечения. И океаном все же этот водо-грязевой резервуар можно назвать условно. Возможно также, что океан был не один, а таких больших водных скоплений было несколько», – говорит Михаил Иванов.

По оценке Майка Карра из Геологической службы США, глубина такого океана могла составлять 0.5 до 1 км, но это очень приблизительно.

Океан на Марсе существовал по геологическим меркам совсем недолго – несколько десятков тысяч лет. А затем исчез и он.



Система гигантских каньонов видна даже на снимках Марса из космоса (NASA)

Постепенно при понижении температуры на Марсе стали формироваться полярные шапки и покровные ледники в топографически высоких областях, например, на вулканах области Форсида.

У Марса при максимальном наклоне оси вращения (он может достигать 82 градусов) происходит перераспределение тепла и влаги на поверхности. Вода уходит в атмосферу из более освещенного и поэтому более теплого полюса и уже конденсируется в виде льда на холодной и затемненной стороне.

Из-за отсутствия крупной луны (как у Земли) положение оси вращения Марса нестабильно и ее наклон может доходить до 8 градусов относительно плоскости обриту. Марс как бы ложится на бок. При этом полярные области планеты преимущественно освещаются Солнцем и там становится теплее, а на экваторе Солнце едва выходит над горизонтом и там становится холодно. Такая ситуация приводит к тому, что снег и лед в полярных областях Марса начинают таять и испаряться, а вода переносится атмосферой и откладывается уже в экваториаль-

ной области. Потом, когда наклон оси вращения выправляется, Марс опять занимает «нормальное» положение и начинается обратный процесс переноса воды из экваториальной зоны к полюсам. Следы экваториальных ледников, однако, остаются, и мы можем их отчетливо видеть.

Если предположить, что в более ранний благоприятный период на Марсе все же могла зародиться жизнь и появились первые микроорганизмы, то на поверхности в этих условиях они бы безусловно не выжили. Но они могли найти себе убежище от губительной космической радиации и адаптироваться к новым условиям. Например, жизнь могла уйти под поверхность, в толщу ледниковых отложений или в подземные водоносные горизонты.

ТАЙНА ПОЯВЛЕНИЯ И ИСЧЕЗНОВЕНИЯ МЕТАНА

Впервые метан в марсианской атмосфере в 1999 году обнаружил в прошлом сотрудник ИКИ РАН Владимир Краснопольский. Он и его команда вели наблюдения с помощью инфракрасного спектрометра на канадско-французско-гавайском телескопе (он установлен горе Мауна-Кеа на Гавайях). Тогда авторы опубликовали в журнале *Icarus* статью с названием, которое выглядело сенсационно «Обнаружение метана в марсианской атмосфере: признаки жизни?»

Концентрация метана, которую определила группа Владимира Краснопольского, составляла около 10 ppb (частей на миллиард) в среднем по атмосфере Марса. Это совсем небольшое

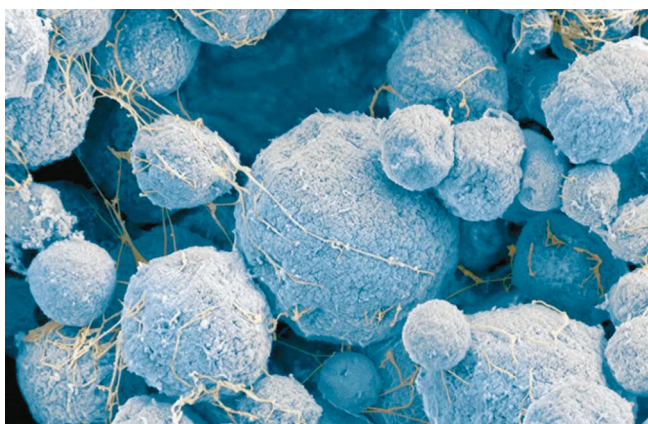


Фото метаногенной бактерии, полученное с помощью электронного микроскопа (Eye of Science/SPL)

значение, примерно в 100 раз меньше, чем в среднем в атмосфере Земли.

После этой публикации интерес к поиску метана в марсианской атмосфере вырос многократно. Но чем больше запускается новых миссий с новыми более точными приборами, чем больше проводится измерений, тем больше возникает вопросов и загадок поведения этого газа на Марсе.

ОБНАРУЖЕНЫ МЕТАНОВЫЕ ВСПЛЕСКИ

В 2003 произошло еще одно яркое открытие.

Сотрудник из Центра космических полетов Годдара в США Майкл Мамма и его коллеги с помощью наземных наблюдений увидели, насколько неравномерно в марсианской атмосфере распределяется метан. Авторы проанализировали результаты спектральных наблюдений в инфракрасном диапазоне, проведенных с помощью 10-метрового телескопа имени Кека и 3.5-метрового телескопа IRTF на Гавайях и нашли в северном полушарии три отдельные зоны с большими выбросами метана.

«Основной выброс, который нам удалось обнаружить в 2003 году, содержал около 19 тысяч тонн метана, а скорость его выделения, по нашим подсчетам, составляла примерно от 0.6 до нескольких граммов в секунду... Все три источника находились в северном полушарии Марса, где в то время было лето: вблизи расщелины Nili Fossae, на границе образования Большой Сырт и в гористом районе Terra Sabae. Под тремя метановыми выбросами находятся порядка 10 млн квадратных километров марсианской поверхности, однако каков размер самих источников, сказать сложно...» – пишут авторы.

В 2004 году итальянский астрофизик Витторио Формизано и его коллеги обработали первые результаты спутниковых данных, полученные с помощью фурье-спектрометра PFS (Planetary Fourier Spectrometer) на орбитальном аппарате Mars Express. Концентрация метана в атмосфере Марса совпала с данными наземных измерений Владимира Краснополяского и составила около в среднем 10 ppb, но в разных частях атмосферы значения могли варьироваться от 0 до 30 ppb.

А вот дальше с метаном начали происходить странные вещи. Как с наземных телескопов, так и с приборов, установленных на орбитальных станциях, и на роверах, исследующих поверхность Марса, стали приходить противоречивые данные, которые сильно всех озадачивали.

Например, наземные измерения Владимира Краснополяского на том же гавайском телескопе с помощью того же спектрометра в 2009 и 2010 гг. показали, что метана в атмосфере Марса нет.

САМЫЙ ТОЧНЫЙ ПРИБОР

В 2012 году к изучению Марса приступил ровер NASA *Curiosity*.

Измерения проводились с помощью комплекса приборов SAM для забора и анализа проб атмосферы и грунта на аппарате TLS – это единственный прибор, специально созданный для измерений метана на Марсе и наиболее точный.

Для поисков метана это был важный этап, поскольку до этого все измерения проводились в марсианской атмосфере на высоте, начиная с 200 км и ниже. *Curiosity* же мерил метан непосредственно на поверхности в кратере Гейла.

Казалось, что наконец именно *Curiosity* поставит точку в спорах о марсианском метане. Но ситуация осложнилась еще больше: ровер также начал передавать противоречивые данные.

В 2012 году группа Криса Вебстера из Лаборатории реактивного движения в Пасадене (США), которая занималась анализом данных SAM, сообщила: метана на поверхности Марса нет. Это выглядело очень странно. Но через два года в 2014 году *Curiosity* и Крис Вебстер метан все же там обнаружили.

«Прямые измерения у поверхности на протяжении 20-ти месяцев показали, что средняя концентрация метана в районе кратера Гейла составляет примерно 0.70 ppb. Затем, в четырех последующих измерениях на протяжении 60-ти марсианских дней мы обнаружили несколько всплесков концентрации метана около 7 ppb», – пишут авторы.

Пятилетние последующие наблюдения у поверхности Марса подтвердили наличие метана в этом районе в виде всплесков.

«За пять лет наблюдений с помощью прибора TLS в районе кратера Гейла можно сделать вывод о том, что фоновый уровень концентрации метана на его поверхности составляет примерно 0.41 ppb, но это значение может значительно меняться в зависимости от сезона от 0.24 до 0.65 ppb.

Также наблюдаются сезонные локальные всплески выбросов метана около 7 ppb», – пишут авторы.

САМОЕ БОЛЬШОЕ ПРОТИВОРЕЧИЕ

Наконец, стартовал долгожданный проект ЭкзоМарс. Совершенно новый и еще более загадочный этап начался, когда в 2018 году первые данные начал передавать аппарат TGO. В научный комплекс TGO (Орбитальный аппарат для исследования малых составляющих атмосферы) входили два спектрометрических комплекса: российский ACS и бельгийский NOMAD.

Первые результаты измерений ACS были опубликованы в 2019 году в статье научного руководителя ACS Олега Кораблева из ИКИ РАН и его коллег. Метан в атмосфере Марса на высоте 20–15 км обнаружен не был (с очень низким нижним пределом 0.07 ppb).

Примерно в это же время в NASA заявили, что *Curiosity* зарегистрировал огромный выброс метана в кратере Гейла – 21 ppb, в три раза больший, чем выброс 2013 года.

В статье, опубликованной в 2021 году, посвященной анализу данных примерно за 2.7 земных года, также говорится, что метана ACS не нашел. Причем точность измерений была еще выше, чем в 2019 году – было установлено, что концентрация метана в атмосфере Марса не превышает 0.02 ppb с вероятностью 99%.

Другими словами, последние и наиболее точные данные показывают явное противоречие между тем, что приборы улавливают в атмосфере Марса и на его поверхности.

Все это время проводятся наблюдения не только за тем, как меняется концентрация метана на Марсе во времени и пространстве, но и ведется поиск

возможных источников метана и тех процессов, которые могут его разрушать. Исследования в этой области ведутся очень активно.

ТАЙНА ИСЧЕЗНОВЕНИЯ МЕТАНА

Известно, что метан разрушается в атмосфере примерно за 300 лет. Наблюдения же показали, что его концентрация в марсианской атмосфере менялась намного быстрее – в течение нескольких лет или даже месяцев и дней.

Как это можно объяснить? В 2009 году Франк Лефевр и Франсуа Форже провели расчет на основе построения модели атмосферы Марса и пришли к следующему выводу: чтобы объяснить наблюдаемые изменения концентрации метана, время его жизни в атмосфере Марса не должно превышать 200 сут., и его источник должен быть невероятно мощным. Другими словами, метан должен был, по мнению авторов, разрушаться во много раз быстрее, чем предполагает общепринятая теория. Статья Лефевра и Форже, опубликованная в журнале *Nature*, так и называлась «Наблюдаемые изменения концентрации метана невозможно объяснить с точки зрения общепринятой химии и физики атмосферы».

С получением новых данных возникли и новые гипотезы причин странного поведения метана в атмосфере Марса.

Например, данные, полученные на приборах марсохода *Curiosity*, показали, чтобы объяснить наблюдаемые значения, не обязателен мощный источник метана – этот газ может просачиваться через множество микротрещин на поверхности Марса. Так, на Земле существуют очень интересные системы в поймах некоторых сибирских рек – микровулканы, из которых выходит метан, который скапливается на доста-

точно большой глубине и потом выходит на поверхность точечно.

Позволили продвинуться намного дальше новые данные, полученные TGO. Благодаря прибору ACS, появилась возможность сравнить концентрации метана на поверхности Марса и в его атмосфере на разной высоте. И тут выяснились важные вещи. Стало понятным, что метан каким-то образом быстро разрушается практически сразу в приповерхностном слое Марса, до того, как уже в атмосфере его заметят ACS.

Кстати, на Земле концентрация метана также сильно снижается в атмосфере за счет того, что его потребляют бактерии – метанотрофы. Поэтому возможно, что на Марсе концентрацию метана необходимо измерять либо прямо на поверхности, либо в верхнем слое грунта.

КТО ЖЕ ТАКИЕ МЕТАНОГЕНЫ?

Что касается источников метана, то здесь предлагаются биологические процессы и геологические. Правда, пока на Марсе не обнаружены никакие источники абиогенного метана, а соответствующие предположения требуют дальнейшей проверки. Поэтому гипотеза биогенного происхождения марсианского метана до сих пор весьма актуальна.

Что же нужно для существования метаногенов на Земле? Прежде всего, анаэробные условия, соответствующая влажность (активность воды) и основные питательные субстраты. Важной особенностью метаногенов является то, что некоторые из них способны к литоавтотрофному способу питания, т. е. они могут жить, используя в качестве субстратов только газы: водород и CO_2 , причем углекислый газ может быть единственным источником углерода,

и из него метаногены способны синтезировать все необходимые им органические молекулы. Конечно, если в среде присутствуют также другие необходимые неорганические соединения. В условиях Марса, в подповерхностных слоях, где величина радиации становится существенно меньше, чем на поверхности, метаногены потенциально могли бы развиваться в определенных экониках с подходящими условиями.

САМЫЕ ДРЕВНИЕ ОРГАНИЗМЫ

Многие ученые считают метаногенов древнейшими земными организмами, более того, существует теория, по которой метаболизм универсального предшественника всех микроорганизмов (прогенота или как его называют в англоязычной литературе LUCA – Last Universal Common Ancestor) был как раз основан на метаногенезе, а самые древние метаногены использовали именно литоавтотрофный путь метаболизма. Эти особенности делают метаногенов чрезвычайно привлекательными модельными микроорганиз-

Фотография архей-метаногенов, полученная с помощью электронного микроскопа





Песчаные формы рельефа на Марсе формируются в результате пылевых бурь (NASA)

мами в различных теориях происхождения жизни и ее существовании на других космических телах, где условия могут быть благоприятными только для самой архаичной формы жизни.

Существует и другая гипотеза источника метана на Марсе, согласно которой органику туда приносят кометы и метеориты, затем под действием УФ-излучения эта органика разрушается с выделением метана. Но здесь есть, по крайней мере, один непонятный момент – каким образом запасы метана постоянно пополняются, ведь, по подсчетам, метан кометного и метеоритного происхождения может дать лишь от 2 до 4% от наблюдаемого.

ИЛИ МЕТАН НА МАРСЕ НИКАК НЕ СВЯЗАН С ЖИЗНЬЮ?

Вторая большая группа гипотез связывает источник метана на Марсе с геологическими процессами.

Предполагается, что метан может просачиваться из залежей газогидратов, которые образовались в результате магматических или опять же биологических процессов на раннем этапе развития Марса. Такие залежи могут находиться под полярными шапками или в районах с вечной мерзлотой, а во время их оттаивания ископаемый метан может выходить на поверхность.

Из геологических гипотез одна из самых обсуждаемых – это реакция серпентизации, когда при реакции оливина с водой образуется минерал серпентин и выделяется метан. Но тут также существует большой вопрос – на Земле эта реакция идет в присутствии большого количества воды, а где столько воды взять на Марсе, непонятно. Если только предположить существование горизонтов с подповерхностными водами.

В некоторых работах показано, что метан образуется при вулканических извержениях и при геотермальной

деятельности. Но здесь проблема в том, что пока на Марсе не было обнаружено ни одного источника современной вулканической или геотермальной активности, хотя в некоторых работах предполагается, что геотермальные источники на Марсе должны были сохраниться.

Не менее сложный и интересный вопрос, как объяснить периоды, когда приборы вообще не определяли метан в атмосфере Марса – т. е., если признать, что источники метана существуют, то остается загадкой, какие процессы могут его разрушать? Здесь также существует несколько предположений.

Существует гипотеза, что метан может разрушаться электронами, которые разгоняются сильными электрическими полями в атмосфере Марса. Такие поля могут возникать во время пылевых бурь за счет трения песчинок о поверхность планеты, которые затем поднимаются в небо ветром и оседают на поверхность в течение долгих месяцев.

Метан может разрушаться при взаимодействии с марсианской почвой, в которой может содержаться перекись H_2O_2 . Она образуется также во время пылевых бурь. Но к этой гипотезе два вопроса: в этом случае разрушение метана должно идти очень быстро – всего около одного часа, к тому же непонятно, достаточно ли перекиси на Марсе, чтобы поддерживать наблюдаемый уровень концентрации метана.

Возможно также, что разрушать метан могут другие химические соединения – перхлорат, пероксиды и хлороводород, найденные в атмосфере Марса.

И наконец, метан может разрушаться самими микроорганизмами.

Точно ответить на вопрос, какова природа источника метана на Марсе – биологическая или геологическая –

можно с помощью измерения в нем относительного содержания разных изотопов углерода. С помощью изотопного анализа можно определить и возраст образования метана, что также поможет найти его источник. Но пока сделать это невозможно – приборов такой точности, способных различать изотопный состав, работающих на Марсе, нет.

В любом случае изучение поведения метана на Марсе, по мнению многих авторов, занимающихся этой темой, открывает удивительные возможности в понимании – вероятно, совершенно других, непохожих на земные – химии и физики. А значит, возможно, и другой биохимии.

Список литературы

1. Clifford S.M., Parker T.J. The evolution of the Martian hydrosphere: Implications for the fate of primordial ocean and the current state of the northern plains // *Icarus*. 2001.
2. Lefevre F., Forget F. Observed variations of methane on Mars unexplained by known atmospheric chemistry and physics // *Nature*. 2009.
3. Webster Christopher R., Mahaffy Paul R. Mars methane detection and variability at Gale crater // *Science*. 2014.
4. Ivanov M.A., Erkeling G. Topography of the Deuteronilus contact on Mars: Evidence for an ancient water/mud ocean and long-wavelength topographic readjustments // *Planetary and Space Science*. 2017
5. Francesco Salese, Maarten G. Kleinhans. Estimated Minimum Life Span of the Jezero Fluvial Delta (Mars) // *Astrobiology*. 2020
6. Kotsyurbenko O.R., Glagolev M.V. Systems approach to the study of microbial methanogenesis in West-Siberian wetlands // *Environmental Dynamics and Global Climate Change*. 2020
7. Montmessin F., Korabely O.I., A. Trokhimovskiy A. Stringent upper limit of 20 pptv for methane on Mars and constraints on its dispersion outside Gale crater // *Astronomy and Astrophysics*. 2021.
8. Farley K.A., Stack K.M. Aqueously altered igneous rocks sampled on the floor of Jezero crater, Mars // *Science*. 2022

ЭКЗОПЛАНЕТЫ В ГАЛАКТИКЕ

БЕЛЕНЬКАЯ Елена Семеновна,

доктор физико-математических наук

АЛЕКСЕЕВ Игорь Иванович,

доктор физико-математических наук, профессор

КАЛЕГАЕВ Владимир Владимирович,

доктор физико-математических наук

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова

Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына (НИИЯФ МГУ)

DOI: 10.7868/50044394824010043

Последние годы интенсивно развивается наука, изучающая Вселенную. Вселенная включает в себя пространство, время, материю и энергию. По современным представле-

ниям Вселенная состоит из темной энергии (~68%), ведущей себя противоположно гравитации и ответственной за расширение Вселенной; темной материи (~27%), предположительно

Рис. 1. Галактика NGC1300. Крупные галактики содержат триллионы звезд могут иметь размеры более миллиона световых лет. Маленькие галактики могут иметь несколько тысяч звезд на масштабе нескольких сотен световых лет. Самые большие галактики имеют сверхмассивные черные дыры в центре, которые могут достигать миллиардов масс Солнца.
<https://www.inverse.com/science/jwst-phangs-enchanted-spiral-galaxy-images>

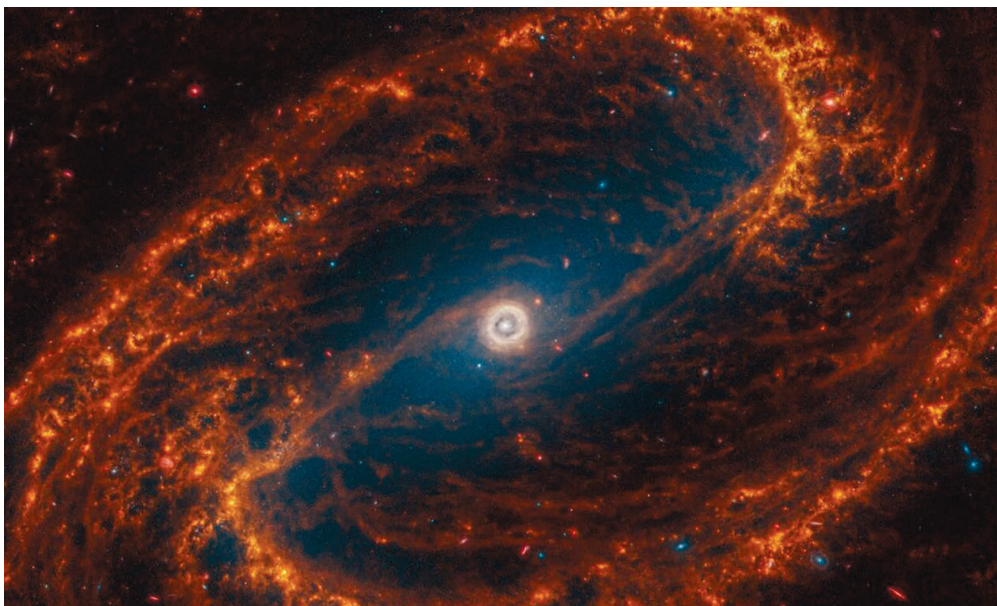




Рис. 2. Млечный Путь. По данным NASA's Spitzer Space Telescope в нашей Галактике два главных рукава, в которых наибольшая плотность звезд. Солнце находится вблизи небольшого частичного рукава, называемого Рукавом Ориона.
https://en.m.wikipedia.org/wiki/File:ALMA_and_the_centre_of_the_Milky_Way.jpg

существующей в гало галактик, невидимой и проявляющейся только гравитацией; свободного водорода H_2 и гелия He (~4%) – наиболее распространенных элементов; звезд (~0.5%), видимых на небе, состоящих, в основном, из водорода, гелия и тяжелых элементов; нейтрино (~0.3%), не обладающих зарядом и массой, самых распространенных частиц во Вселенной; тяжелых элементов (~0.03%) – всех элементов, кроме водорода и гелия, являющихся строительными блоками для всего в материальной Вселенной. Возраст Вселенной оценивается в 13.8 миллиардов лет.

Звезды рождаются в галактиках (рис. 1). Галактики – это гравитационно-связанные системы, состоящие из звезд, звездных скоплений, межзвезд-

ного газа, плазмы (ионизованного состояния вещества, движущегося под действием электрических и магнитных сил и способного создавать и переносить электрические токи), пыли, планет и других небесных тел и темной материи. Считается, что в центре галактик находятся черные дыры – компактные объекты, в которые превращаются звезды массивнее Солнца в несколько раз после того, как они исчерпывают свое топливо (водород).

Наша Галактика называется Млечный Путь (рис. 2). Ближе к периферии этой спиральной Галактики (на расстоянии 25 000 световых лет) в одном из рукавов расположена Солнечная система, в которой находится Земля. Солнечная система входит в созвездие Девы (Virgo), в свою очередь, находящемся в суперкластере (сверхскоплении) Ланиакеля, что означает по-гавайски Необъятные Небеса (рис. 3). Ланиакеля может быть частью еще более мощного образования, пока неизвестного. Получено свидетельство того, что магнитные поля пронизывают газы, пыль и темную материю, связывая галактики вместе. Оказалось, что магнитные поля могут распространяться по всей космической паутине и существуют везде.

В Солнечной системе вокруг Солнца вращаются четыре каменные внутренние планеты (Меркурий, Венера, Земля, Марс) и четыре внешние планеты-гиганты (Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун). Юпитер и Сатурн – газовые гиганты, Уран и Нептун – ледяные гиганты. Большинство планет Солнечной системы обладают магнитными полями. Исключение составляет Венера и частично Марс, в южном полушарии которого есть локальные участки коры со слабым магнитным полем. Помимо Солнца в нашей Галактике более 100 миллиардов звезд. Вокруг них могут вращаться планеты, которые называются экзопланеты, или extra solar planets.

Эра открытия экзопланет – планет, вращающихся вокруг других звезд, началась с конца восьмидесятых – начала девяностых годов прошлого века. При исследовании этих объектов использовался опыт изучения планет Солнечной системы, однако, у экзопланет могут быть свойства, как общие с планетами, вращающимися вокруг Солнца, так и отличные от них. Обычно экзопланеты разделяют на следующие типы: газовые гиганты, нептуну, суперземли, планеты земного типа (рис. 4). Экзопланеты могут быть в системах с одной или несколькими звездами, а также могут быть не связаны ни с какой звездой. Обычно малые планеты – каменные, большие – газовые. Между ними возможны водянистые.

Экзопланеты отличаются большим разнообразием. Экзопланеты, расположенные близко от центральной звезды имеют период вращения, равный орбитальному периоду, поэтому они всегда повернуты к звезде одной сто-

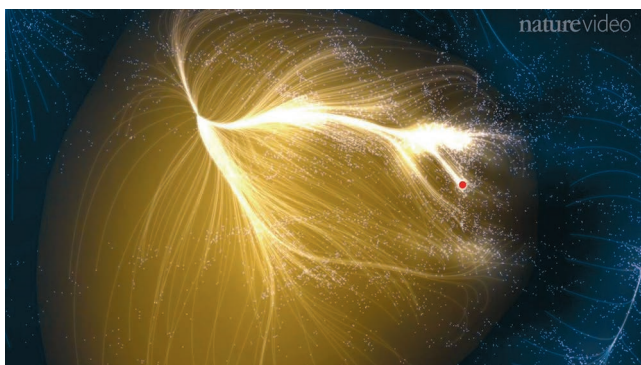


Рис. 3. Суперкластер галактик Ланиакее. Млечный путь отмечен красной точкой. Галактики обозначены белыми точками, белые линии показывают траектории движения галактик к Великому Амтрактору – гравитационному центру.
<https://www.space.com/33553-biggest-thing-universe.html>

роной (как Луна относительно Земли). Вследствие этого подзвездная сторона близкой экзопланеты может сильно разогреваться и даже плавиться. Возможны планеты, покрытые лавой. Богатые углеродом экзопланеты могут состоять из алмазов.

Особый интерес представляют экзопланеты в зоне обитаемости, где возможно существование воды на поверхности в жидком виде, поскольку с этим связаны надежды найти жизнь, подобную земной. Реально, звезды и планеты

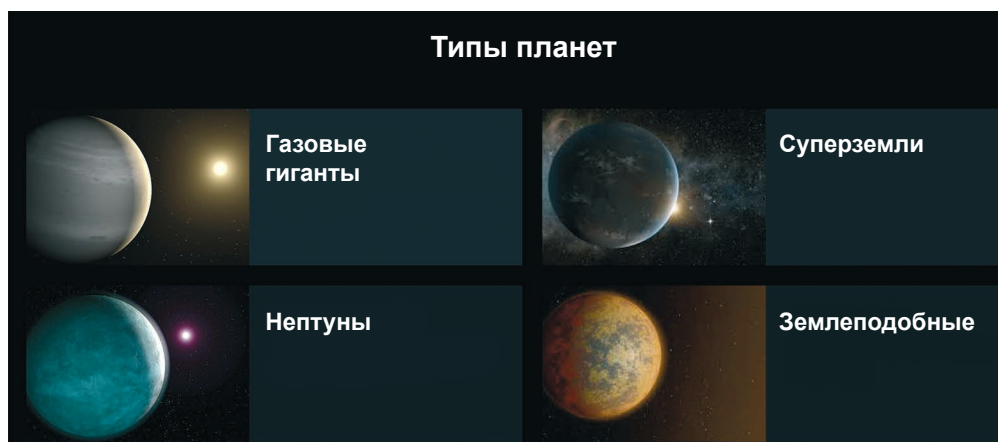


Рис. 4. Типы экзопланет. <https://exoplanets.nasa.gov/what-is-an-exoplanet/planet-types/overview/>

всегда находятся в уникальных условиях, и трудно сформулировать все условия, необходимые для существования жизни. У небольших и неярких звезд зоны обитаемости расположены близко. Для возникновения и поддержания жизни (подобной земной) кроме воды необходимо наличие атмосферы экзопланеты, благоприятного состояния ее внутренней структуры, температурного режима и климата, наличия биосферы, родительской звезды определенного типа, а также наличия магнитного поля, защищающего планету от радиации и возможной потери атмосферы. Рассмотрим подробнее вопрос о магнитном поле экзопланет и процессах, которые с ним связаны.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЗВЕЗДНОГО ВЕТРА С ЭКЗОПЛАНЕТОЙ

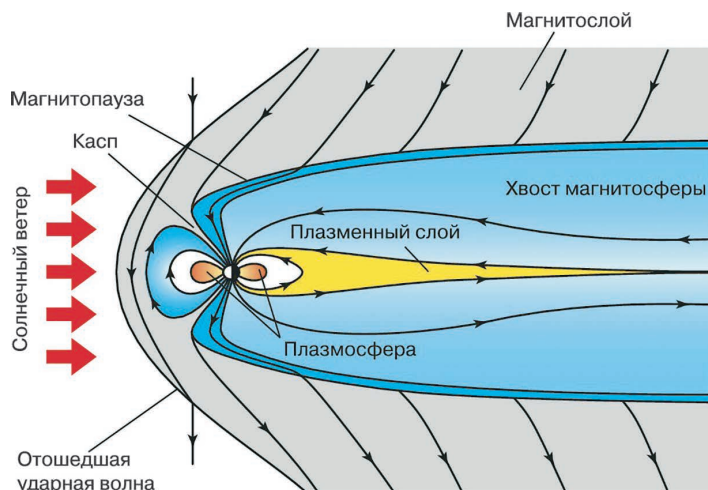
Наиболее точный способ определения магнитного поля экзопланеты – измерение ее радиоизлучения. Для этого в настоящее время строятся мощные радиотелескопы. Пока используются косвенные методы оценки магнитного поля экзопланет. В настоящее время известны несколько экзопланет с оцененным магнитным полем, например, HAT-P-11b, для которой, по данным космического телескопа Хаббл, полученным в УФ диапазоне, удалось объяснить наличием магнитного поля наблюдаемую протяженность области ионов углерода, окружающую планету и вытянутую в длинный хвост в сторону от звезды. До этого было оценено магнитное поле экзопланеты HD209458b¹. Авторы использовали наблюдения экзопланеты HD209458b космическим те-

лескопом Хаббл в линии водорода Лайман-альфа во время транзита, когда планета проходила по видимому диску звезды. Они моделировали область, занятую горячим водородом вокруг экзопланеты, и показали, что наблюдения легко объяснить, если предположить конкретную величину магнитного поля HD209458b.

Вероятно, у многих экзопланет тоже есть пока не зарегистрированное магнитное поле, однако, существуют и не магнитные планеты (например, Венера). Планетарное магнитное поле существенно влияет на взаимодействие экзопланеты со звездным ветром ее родительской звезды – потоком плазмы. Звездные ветры многих звезд тоже обладают своим магнитным полем, как Солнце. Область, образующаяся вокруг планет/экзопланет в результате взаимодействия с обтекающим потоком плазмы звездного ветра, в которой главную роль играет магнитное поле планеты, определяющее движение плазмы, называется магнитосферой. В процессе обтекания деформируются силовые линии собственного магнитного поля экзопланеты и образуются магнитосферные токовые системы, являющиеся дополнительными источниками магнитосферного магнитного поля. Под действием давления звездного ветра формируется кометообразная форма магнитосферы: ее фронтальная область поджимается, а противоположная сторона вытягивается в направлении от звезды, образуя так называемый «магнитосферный хвост». На рис. 5 для примера показана схема магнитосферы Земли. Слева толстые стрелки изображают солнечный ветер, перед препятствием образуется головная ударная волна, за ней переходный слой, потом граница магнитосферы – магнитопауза, в магнитосфере сплошными линиями показаны силовые линии магнитного поля планеты, искаженные обтеканием солнеч-

¹ Kislyakova K.G., Holmström M., Lammer H., Odert P., Khodachenko M.L. Magnetic moment and plasma environment of HD 209458b as determined from Ly α observations, Science, 2014. Vol. 346. P. 6212, 1095–9203. DOI: 10.1126/science.1257829

Рис. 5. Магнитосфера Земли. Перед магнитосферой образуется ударная волна. Магнитное поле земного диполя искажено влиянием солнечного ветра, образуются крупномасштабные магнитосферные токовые системы. Источник: <https://old.bigenc.ru/physics/text/2154116>



ным ветром. Для описания магнитосферного магнитного поля используют разные модели. Мы остановимся на параболоидной модели, построенной в НИИЯФ МГУ.

ПАРАБОЛОИДНАЯ МОДЕЛЬ МАГНИТОСФЕРЫ

Для описания магнитосферного магнитного поля была построена параболоидная модель для Земли² и других планет Солнечной системы³, а также магнитных экзопланет земного типа

² Alexeev I.I., Belenkaya E.S., Kalegaev V.V., Lyutov Y.G. Electric fields and field-aligned current generation in the magnetosphere. J. Geophys. Res. 1993. Vol. 98. P. 4041–4051.

³ Belenkaya E.S., Alexeev I.I., Slavin J.A., Blokhina M.S. Influence of the solar wind magnetic field on the Earth and Mercury magnetospheres in the paraboloidal model, Planetary and Space Science, 2013. Vol. 75. P. 46–55; Alexeev I.I., Belenkaya E.S. Modeling of the Jovian Magnetosphere, Annales Geophysicae, 23. P. 809–826. 2005; Belenkaya E.S., Cowley S.W.H., Nichols J.D., Blokhina M.S., Kalegaev V.V. Magnetospheric mapping of the dayside UV auroral oval at Saturn using simultaneous HST images, Cassini IMF data, and a global magnetic field model. Ann. Geophys., 29. P. 1233–1246. 2011. DOI: 10.5194/angeo-29-1233-2011

и гигантов⁴. В этой модели граница магнитосферы – магнитопауза – задается параболоидом вращения вокруг оси X , направленной из центра планеты к звезде. Под влиянием звездного ветра магнитное поле экзопланеты искажается, что приводит к образованию магнитосферных токовых систем. Основные системы: токи экранировки на магнитопаузе, препятствующие проникновению магнитосферного поля во внешнее пространство, и токи хвоста, которые поддерживают его вытянутую структуру.

Если звездный ветер содержит магнитное поле B_{IMF} , то при обтекании планеты создаются условия для его проникновения в магнитосферу с коэффициентом ослабления $k < 1$: $b = k B_{IMF}$. Свойства звездного ветра зависят от

⁴ Belenkaya E.S., Alexeev I.I., Blokhina M.S. Modeling of magnetospheres of terrestrial exoplanets in the habitable zone around G-type stars. Universe, 2022. Vol. 8, № 4. P. 231. <https://doi.org/10.3390/universe8040231>; Бельенкая Е.С., Алексеев И.И., Калегоев В.В. Моделирование магнитосферы (принята в печать); Бельенкая Е.С. Взаимодействие экзопланеты НАТ-P-11b со звездным ветром. Астрономический журнал. 2023. Т. 100, № 11. С. 958–963. DOI: 10.31857/S0004629923110026

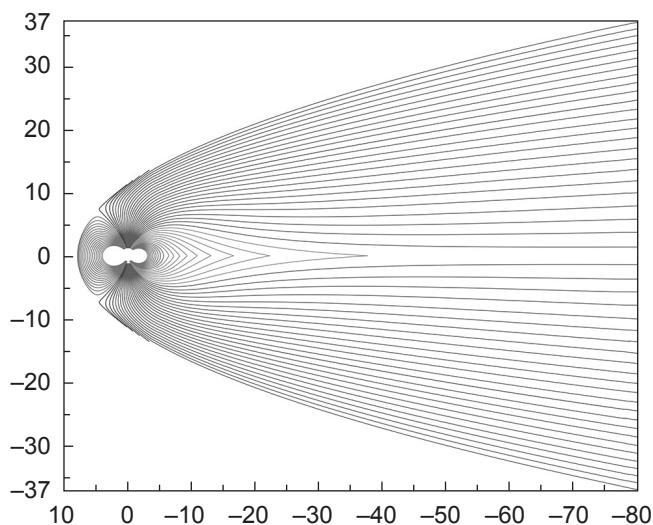


Рис. 6. Силовые линии магнитного поля в параболоидной модели магнитосферы землеподобной экзопланеты вокруг звезды класса G. Меридиональное сечение день – ночь. По горизонтальной оси X и по вертикальной оси Z отложены расстояния от центра экзопланеты в ее радиусах

спектрального класса родительской звезды и от расстояния экзопланеты от звезды. Если у планеты нет магнитного поля, то препятствием для звездного ветра служит ее атмосфера/ионосфера/экзосфера или сама планета в случае их отсутствия. Если магнитное поле есть, то оно останавливает звездный ветер. Точка останова звездного ветра лежит на фронтальной магнитопаузе на расстоянии r_{mp} от центра планеты. Этот параметр параболоидной модели магнитного поля характеризует масштаб магнитосферы.

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ МАГНИТОСФЕРЫ ЭКЗОПЛАНЕТЫ ЗЕМНОГО ТИПА ВОКРУГ ЗВЕЗДЫ G-КЛАССА

Наибольший интерес в последнее время вызывают планеты в зоне обитаемости. Поэтому мы построили модель

магнитосферы экзопланеты земного типа, вращающейся вокруг звезды G-класса (как Солнце) и находящейся в этой зоне⁵. Магнитное поле планеты считалось равным земному с осью магнитного диполя антипараллельной оси вращения. Для поддержания кометообразной конфигурации магнитосферы необходимы крупномасштабные токи на магнитопаузе и поперек хвоста. Токи магнитопаузы экранируют все источники магнитосферного поля и частично межпланетное магнитное поле. На рис. 6 показана модель магнитосферы землеподобной планеты в зоне обитаемости вокруг звезды класса G.

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ МАГНИТОСФЕРЫ ЭКЗОПЛАНЕТЫ-ГИГАНТА

Построение модели магнитосферы экзопланеты-гиганта выполнено для планеты HAT-P-11b в созвездии Лебедя. Планета вращается вокруг звезды HAT-P-11 класса K2-V. Экзопланета находится на близкой орбите от родительской звезды на расстоянии $d = 0.0465$ а. е. Ее орбитальный период $T_{\text{orb}} = 4.9$ дня; она размером с Нептун и массой порядка 0.08 массы Юпитера.

В работе «Signatures of strong magnetization and metal-poor atmosphere

⁵ Belenkaya E.S., Alexeev I.I., Blokhina M.S. Modeling of magnetospheres of terrestrial exoplanets in the habitable zone around G-type stars. Universe, 2022. Vol. 8, № 4. P. 231. <https://doi.org/10.3390/universe8040231>

for a Neptune-size exoplanet»⁶ для этой экзопланеты было оценено магнитное поле. На ее экваторе оно составляет порядка 1–5 Гс с наиболее вероятным значением 2.4 Гс. Из наблюдений на космическом телескопе Хаббл в дальнем УФ (113–146 нм) авторы сделали вывод о том, что магнитосфера НАТ-P-11b простирается от $\sim 20 R_{\text{pl}}$ с дневной стороны до 1.8–3.1 а. е. с ночной, причем ее хвост заполнен плазмой полярного ветра экзопланеты.

Для того, чтобы понять, какая магнитосфера возникает у этой экзопланеты, необходимо исследовать ее взаимодействие со звездным ветром. НАТ-P-11 – оранжевый карлик, его возраст 6.5 млрд лет, он активнее Солнца, число пятен и их площадь больше, чем у Солнца. Сравнение с Солнцем позволило оценить магнитное поле этой звезды $\sim 1\text{--}2$ Гс (у Солнца 1 Гс), температуру $T \sim (1.3\text{--}1.5) \cdot 10^6$ К, скорость $V_{\text{sw}} \sim 500\text{--}600$ км с^{-1} и плотность $n_{\text{sw}} \sim 3.3 \cdot 10^3$ см $^{-3}$ звездного ветра на орбите НАТ-P-11b. По этим данным можно найти значения динамического, теплового и магнитного давлений звездного ветра, действующих на магнитосферу экзопланеты. На рис. 7 показано меридиональное сечение магнитосферы НАТ-P-11b день–ночь. Расчеты проведены в параболоидной модели магнитосферы с учетом наличия магнитодиска, подобного существующему у планет-гигантов в Солнечной системе (Юпитера и Сатурна).

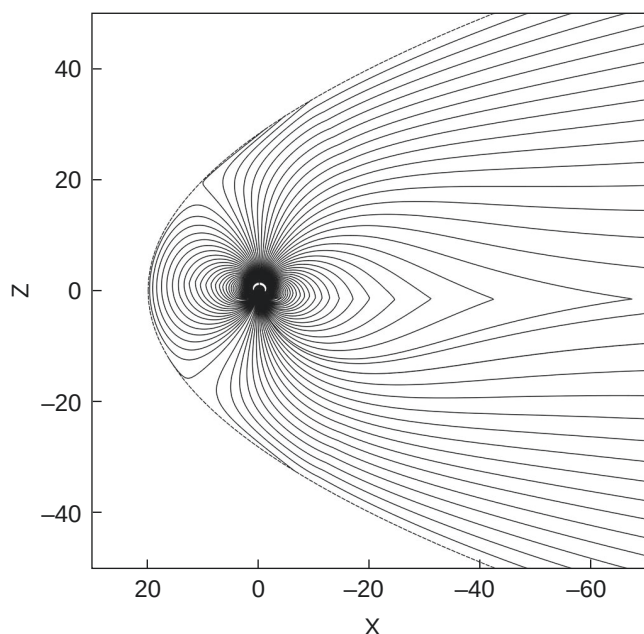


Рис. 7. То же, что на рис. 6, но для магнитосферы экзопланеты-гиганта НАТ-P-11b вокруг звезды НАТ-P-11 класса K2-4 V. По осям отложены расстояния в радиусах экзопланеты

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование экзопланет очень быстро развивается в последние годы благодаря усовершенствованию техники наблюдений и растущему интересу к этой проблеме. Космические миссии, занятые поиском экзопланет: *Hubble*, *Kepler*, *K2*, *Spitzer*, *TESS*, *James Webb Space Telescope*, плюс наземные наблюдения. В настоящее время (конец января 2024 г.) из миллиардов экзопланет в нашей Галактике подтверждено существование 5572, 10 065 кандидатов ждут подтверждения. Обнаружены 4283 экзопланетные системы. Следующее поколение космических телескопов откроет новые возможности в поисках жизни во Вселенной. С этой целью будет развиваться изучение атмосфер обнаруженных экзопланет, а поиск новых будет ориентирован на попытки регистрации их радиоизлучения.

⁶ Ben-Jaffel, Lotfi, Gilda E. Ballester, Antonio García Muñoz et al. Signatures of strong magnetization and metal-poor atmosphere for a Neptune-size exoplanet, *Nature Astron.*, 2022. Vol. 6. P. 141. DOI: 10.48550/arXiv.2211.05155

КАКИМ МОЖЕТ БЫТЬ ПЕРВЫЙ КРЫЛАТЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬ КРАСНОЙ ПЛАНЕТЫ?

КАРПОВИЧ Елена Анатольевна,

кандидат технических наук

Московский авиационный институт, ПАО «Яковлев»

КОМБАЕВ Тимур Шикурович,

Московский авиационный институт

ФОРШТЕР Евгений Борисович

DOI: 10.7868/50044394824010055



Марс – изрезанная разломами, вулканами и каньонами ледяная пустыня с тонкой атмосферой, почти не защищенная от ионизирующего космического излучения. Сформировавшись примерно в то же время, что и наша планета, Марс существенно отличается от Земли по размеру, климату, ландшафту, и во многих других аспектах.

КАКИЕ УСЛОВИЯ ОЖИДАЮТ МАРСИАНСКИЙ БЕСПИЛОТНИК?

С древнейших времен Марс привлекает внимание астрономов. Первые наблюдения Марса с помощью телескопов выявили изменение цвета его поверхности в течение года, а также характерные особенности рельефа. Изменение цвета поверхности можно было объяснить как сезонное изменение растительного покрова, а необычный марсианский ландшафт – целенаправленной работой разумных существ. Впоследствии благодаря наблюдениям с помощью более совершенных приборов были обнаружены два спутника Марса, Фобос и Деймос, полярные ле-

дяные шапки и Олимп – самая высокая гора Солнечной системы. Было обнаружено, что из-за наклона оси вращения к плоскости орбиты на Марсе есть времена года. Зимой в северном полушарии полярная шапка растет, а в южном почти исчезает, и через полгода полушария меняются местами. Продолжительность марсианских суток сопоставима с земными сутками.

Первые полеты автоматических космических аппаратов (КА) развеяли теории о «живом» Марсе. На снимках, полученных с автоматической межпланетной станции *Mariner-4*, люди увидели усеянную кратерами безжизненную поверхность. Дальнейшие исследования выявили и другие формы рельефа Марса, например пересохшие русла рек, что говорит о наличии на планете в прошлом жидкой воды и дает надежду найти на ней следы жизни.

Тонкая атмосфера Марса состоит в основном из углекислого газа, азота и аргона. На Марсе бывают облака, туманы, дымка, метели и даже снег.

Как и на Земле, на Марсе случаются пылевые бури. Но, в отличие от Земли, на Марсе эти бури могут прини-

мать планетарный масштаб, поднимая тысячи тонн пыли из окиси железа высоко над поверхностью планеты и существенно снижая оптическую видимость нижних слоев атмосферы. Марсианские автоматические аппараты неоднократно были свидетелями пылевых дьяволов – конвективных вихрей, возникающих, когда горизонтальные потоки закручивают газ, поднимающийся с разогретой Солнцем поверхности планеты. Но марсианские пылевые дьяволы больше, быстрее и существуют дольше своих земных братьев. И по некоторым данным, в среднем на один квадратный километр поверхности Марса приходится один пылевой дьявол в сутки!

Пыль играет ключевую роль в определении современного климата Марса и, как предполагается, оказывает большое влияние на эволюцию поверхности и историю климатических условий на планете.

Пылевые бури на Марсе возникают почти на всех широтах и в течение всего года. Однако, по наблюдениям, наиболее часто они возникают в области 10–20° северной широты и 20–40° южной широты, причем на юге наблюдается больше пылевых облаков, чем на севере, и большинство из них приходится на южную весну.

Из-за потоков с поперечным градиентом скорости вся приповерхностная атмосфера Марса оказывается турбулентной. Наличие относительно мелких пылевых частиц в приповерхностном слое приводит к увеличению градиента скорости и отрыву частиц от поверхности, увеличивая количество пыли, переносимой в атмосферу. Интенсивность турбулентности в марсианской атмосфере может достигать 20%, что сопоставимо с течением внутри компрессоров и высоконагруженных каналов. Безусловно, это свойство марсианской атмосферы должно быть

учтено при проектировании самолета для исследования Красной планеты.

Температура окружающей среды на поверхности Марса колеблется от –130 °С до 35 °С. Следовательно, для обеспечения нормальной работы приборов, двигательной установки и аккумуляторных батарей на борту летательного аппарата (ЛА) необходима система терморегулирования. Эта система может включать электрические нагреватели, терморегулирующие покрытия, экранно-вакуумную теплоизоляцию и конструктивные элементы с различной теплопроводностью.

ИССЛЕДОВАНИЕ МАРСА С ПОМОЩЬЮ АВТОМАТИЧЕСКИХ КА

На начальном этапе Марс исследовался с пролетных траекторий, когда автоматический КА пролетал в непосредственной близости от планеты, делал необходимые научные измерения и дальше удалялся от Марса, оставаясь на орбите вокруг Солнца. К таким исследовательским полетам можно отнести *Mariner-4*, пролетевший рядом с Марсом в 1965 г. Дальше последовали исследования с орбиты планеты и точечные исследования поверхности с помощью аппаратов, совершающих посадку на поверхность. Первую в истории мягкую посадку на поверхность Марса в 1971 г. совершил исследовательский аппарат Марс-3. В настоящее время для исследования Марса широко используются марсоходы с колесным движителем, которые могут проводить исследования по пути своего движения. Начало такому типу исследований положили марсоходы-близнецы *Spirit* (англ. – Дух) и *Opportunity* (англ. – Возможность), прибывшие на Марс в 2004 г. Энергию они получали от солнечных батарей, которые пе-

риодически покрывались пылью. Пыль, наравне с труднопроходимым рельефом Марса, доставляла трудности при эксплуатации марсоходов. Следующим поколением марсоходов стали уже более тяжелые *Curiosity* (англ. – Любознательность) и *Perseverance* (англ. – Настойчивость), начавшие исследования в 2012 и 2021 гг. Эти марсоходы, в отличие от предыдущих, получали электрическую энергию не от солнечных батарей, а от преобразования тепла, получаемого при естественном распаде радиоактивных изотопов.

Одним из недостатков марсоходов является то, что они могут проводить контактные исследования лишь на небольшой площади. Например, марсоход *Opportunity* за 15 земных лет преодолел не более 50 км. Это помимо других технических причин связано со сложностью рельефа и ограниченной проходимостью марсоходов.

Вертолет *Ingenuity* (англ. – Изобретательность), который прибыл на Марс в 2021 г. как маленький попутчик большого марсохода *Perseverance*, произвел настоящую революцию в дальнейших планах и перспективах исследования планеты. *Ingenuity* продемонстрировал возможность полета в разреженной атмосфере планеты, совершая короткие перелеты от одной точки к другой. *Ingenuity* открыл перспективы создания для Марса нового поколения летающих роботов, как больших исследовательских вертолетов и самолетов, так и роя маленьких недорогих исследовательских станций (масса вертолета *Ingenuity* составляет всего 1,8 кг). За неполных 3 земных года вертолет пролетел 17 км. Это показывает, что новый тип летающих роботов на поверхности Марса может значительно расширить наши возможности по исследованию планеты.

Уже сейчас можно сказать, что тенденцией в развитии нового поколения

роботов является переход от точечных исследований к расширению площади проводимых исследований – в частности, за счет отказа от колесных движителей и перехода к использованию управляемых перемещений в атмосферах и гидросферах планет и их спутников.

ПЕРВЫЕ ПРОЕКТЫ ЛА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МАРСА

Самолет, летящий на малой высоте над поверхностью Марса, сможет решить ряд задач, недоступных для других типов автоматических аппаратов: он сможет исследовать территорию, на несколько порядков большую, чем планетоход, с разрешением, намного превышающим разрешение, предлагаемое современными спутниками; кроме того, такой беспилотный ЛА (БПЛА) сможет расширить наши знания о характеристиках марсианской атмосферы на разных высотах.

Первым проектом самолета, предназначенного для полета на Марсе, был *Mini-Sniffer* с размахом крыла 6,7 м, оснащенный двигателем внутреннего сгорания на гидразиновом топливе.

Прогресс в области автоматизированного проектирования и оптимизации облика ЛА и силовых установок, новые материалы с лучшими удельными характеристиками и защитой от космического излучения расширили диапазон концепций марсианских БПЛА. Среди предложенных проектов наиболее известен ARES (Aerial Photography of the Environment on the Regional Scale) исследовательского центра NASA в Лэнгли. Прорабатывались и другие концепции марсианских беспилотных ЛА: планеры, самолеты с надувными крыльями, вертолеты, сверхлегкие летающие роботы-насекомые, аппараты с машущими крыльями.

НАУЧНЫЕ ЗАДАЧИ ДЛЯ
МАРСИАНСКОГО БЕСПИЛОТНОГО
ЛА САМОЛЕТНОГО ТИПА

Самолет, предназначенный для исследования Марса, может быть спроектирован для выполнения одного или нескольких полетов.

Самолет без возможности вертикального взлета будет осуществлять измерения в полете, и если он будет оснащен устройством для выполнения одной контролируемой вертикальной посадки, он также будет работать в качестве посадочного аппарата, измеряющего интересующие параметры на поверхности. Аппарат вертикального взлета и посадки может проводить измерения в планетарном пограничном слое в требуемых временных масштабах, а также доставлять приборы в заданные места, осуществляя измерения на поверхности. Первый вариант позволит определить турбулентные и радиационные потоки на нижних 2–5 км атмосферы. Такие измерения должны учитывать сильные временные вариации, ожидаемые в этой части атмосферы. Второй вариант расширит географический и временной охват измерений.

Наборы научной полезной нагрузки, предлагаемые для проведения измерений в полете и на поверхности Марса, представлены в табл. 1 и 2.

Приборы, работающие в полете, в основном предназначены для изучения подстилающей поверхности. Для изучения состава поверхностного слоя полезная нагрузка может включать инфракрасный спектрометр. Небольшие особенности рельефа могут быть изучены с помощью лидара (оптического локатора для дистанционного зондирования, использующего лазерное излучение) благодаря близости аппарата к поверхности Марса. Георадар и радиометр – два прибора, позволяющие изучить внутреннюю структуру

приповерхностного слоя. Для отслеживания локальных изменений параметров атмосферы на разных высотах (измерения температуры, давления, ветра и влажности) ЛА может потребоваться метеорологический комплект. Для детального изучения состава поверхности Марса могут быть также использованы рамановская спектроскопия, используемая для определения колебательных мод молекул и вибрационных мод в твердых телах, своего рода структурных «отпечатков» молекул, с помощью которых их можно идентифицировать, а также лазерно-искровая эмиссионная (LIES) спектрометрия.

Таблица 1

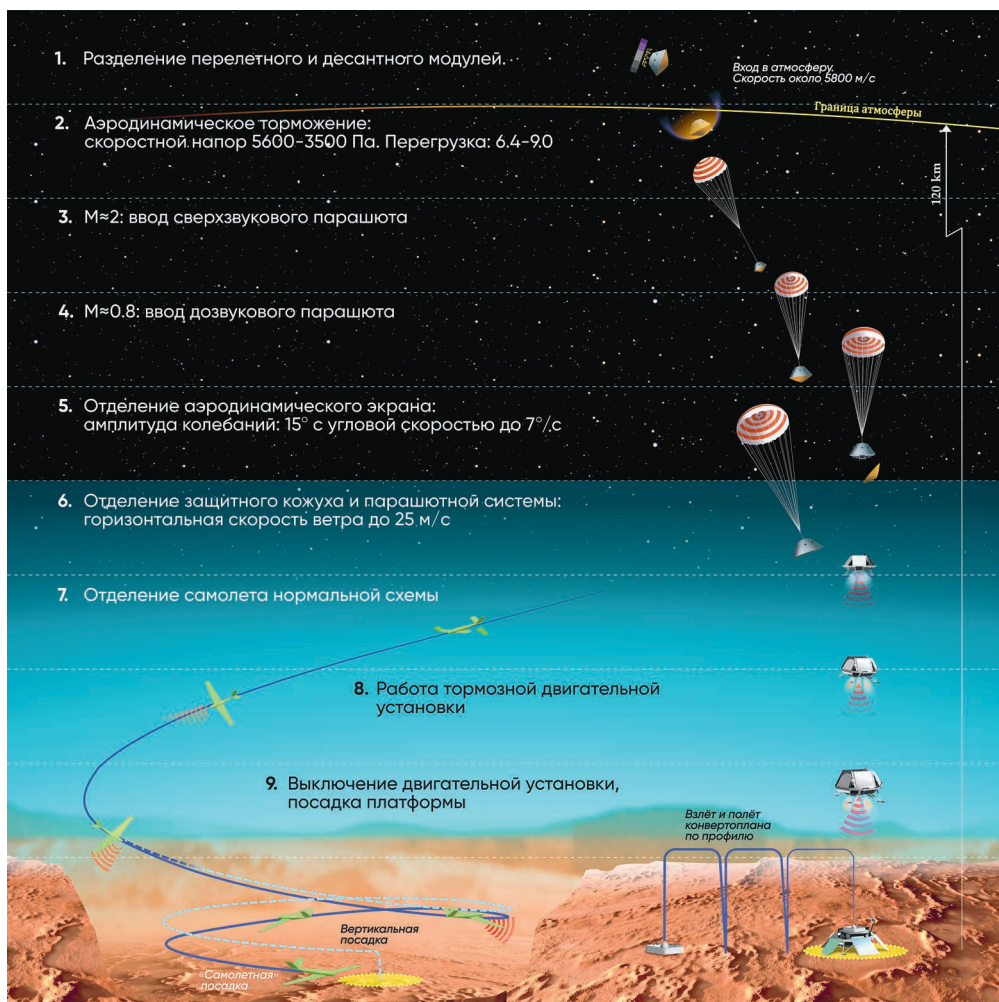
Пример комплекта бортовых научных приборов БПЛА для проведения измерений в полете

Прибор	Масса, кг
Камеры (для различных диапазонов длин волн)	1.5
Метеорологические датчики	0.5
Лидар	0.5
Радиометр	0.5
Георадар	1
ИК-спектрометр	1.5
Суммарная масса	5.5

Таблица 2

Пример комплекта бортовых научных приборов БПЛА для проведения измерений на поверхности Марса

Прибор	Масса, кг
Камеры (для различных диапазонов длин волн)	1.5
Метеорологические датчики	0.5
Раман и/или LIES спектрометр	2.5
ИК-спектрометр	1.5
Суммарная масса	6



Возможная программа спуска десантного модуля в атмосфере Марса и профили полета БПЛА: самолет нормальной схемы, один полет (синяя кривая на рисунке слева); конвертоплан, несколько полетов с вертикальным взлетом и посадкой (синяя кривая на рисунке справа)*

На рисунке показаны возможные программы спуска десантного модуля в атмосфере Марса, а также смоделированы профили полета БПЛА.

Отделение десантного (посадочного) модуля от перелетного модуля происходит при приближении КА к границе атмосферы Марса.

Марс имеет довольно разреженную атмосферу, что требует исполь-

зования системы спуска с тормозным двигателем на заключительном этапе посадки.

Программа посадки десантного модуля с БПЛА состоит из нескольких этапов:

1) внеатмосферный этап, начинающийся с отделения десантного модуля от перелетного модуля и заканчивающийся непосредственно перед входом десантного модуля в марсианскую

* Все изображения в статье подготовлены авторами.

атмосферу (120 км над поверхностью Марса);

2) этап аэродинамического торможения, начинающийся на высоте 120 км и заканчивающийся перед раскрытием парашютной системы;

3) торможение с помощью парашютной системы, заканчивающееся отделением посадочной платформы от заднего кожуха с закрепленной на нем парашютной системой;

4) торможение с помощью ракетного двигателя – от отделения посадочной платформы от заднего кожуха до касания опор посадочной платформы о поверхность Марса.

Во время аэродинамического торможения скорость посадочного модуля уменьшается с 5800 м/с до значений, приемлемых для раскрытия сверхзвукового парашюта ($M = 2$). Максимальное динамическое давление изменяется от 5600 до 9500 Па и достигается на высотах от 25 до 33 км. Максимальная перегрузка, испытываемая десантным модулем, приближается к 9.

Полет БПЛА может начаться либо после отделения заднего кожуха, либо после достижения посадочной платформой поверхности Марса.

Если самолет не может осуществлять вертикальный взлет, для успешного перехода в горизонтальный полет он должен быть отделен от десантного модуля как можно выше. Максимальная высота старта самолета зависит от эффективности парашюта, траектории спуска и характеристик самолета: ограничения по числу Маха, массы аппарата и его аэродинамическим характеристикам.

Мюррей и Тартабини рассчитали, что марсианскому самолету массой 18 кг с ограничением по числу Маха 0.8 требуется запас высоты 5000–3000 м для успешного перехода в горизонтальный полет.

ВНЕШНИЕ ФАКТОРЫ, ВОЗДЕЙСТВУЮЩИЕ НА БПЛА ВО ВРЕМЯ ПЕРЕЛЕТА НА МАРС

На протяжении перелета и в процессе эксплуатации на Марсе БПЛА подвергается воздействию ряда внешних факторов, к которым относятся:

1) высокие температуры после сбрасывания головного обтекателя и во время аэродинамического торможения в атмосфере Марса;

2) механическая перегрузка во время старта ракеты-носителя и спуска десантного модуля в атмосфере Марса;

3) космическая радиация;

4) низкая температура во время перелета на Марс и при работе на Марсе;

5) пыль в атмосфере Марса.

Меры по снижению негативного влияния на БПЛА внешних факторов могут включать:

– тепловой контроль;

– конструкции, разгружающие БПЛА во время старта и посадки;

– радиационную защиту;

– защиту от пыли.

На траектории Земля-Марс КА подвергается воздействию радиации от солнечных вспышек и далеких галактических источников, а при выводе на траекторию перелета к Марсу – еще и от радиационных поясов вокруг Земли.

Кроме того, на КА, обеспечивающем перелет самолета в спящем состоянии до Марса, могут находиться радиозотопные источники электричества и тепла. Эти устройства используют энергию, выделяющуюся при радиоактивном распаде. Одним из их недостатков является дополнительная радиация, излучаемая ими в окружающее пространство. К Марсу самолет летит в спящем режиме внутри большого перелетного модуля, который своей массой защищает его от внешней кос-

мической радиации. От внутренней радиации, связанной с излучением радиоизотопных источников, самолет защищен тем, что закреплен внутри на значительном расстоянии от этих источников. После перелета к Марсу и входа в его атмосферу нагрузки на электронику от радиации значительно снижаются.

На Марсе нет магнитного поля, которое бы ослабляло космическую радиацию. Тем не менее, после доставки самолета на Марс радиационная нагрузка снижается на 70% за счет поглощения марсианской атмосферой (как показывают измерения радиационной нагрузки на работающих марсоходах). По этой причине в системах самолета может использоваться электроника, разработанная для земных беспилотных ЛА. Любопытно, что первый марсианский вертолет *Ingenuity* был собран на коммерческих электронных компонентах, некоторые из которых используются в смартфонах.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БПЛА ДЛЯ МАРСА

Традиционно процесс проектирования ЛА начинается с тщательного анализа всех имеющихся требований и ограничений, связанных с будущим самолетом. Для проектов «обычных» самолетов ценным источником информации являются статистические данные о самолетах данного класса. Эти данные приводятся в виде соотношений между массой компонентов взлетного веса (например, массой крыла, системы или шасси) и взлетной массой самолета.

При проектировании самолета возникают, в частности, два вопроса:

1) какие сочетания параметров и характеристик могут быть реально осуществлены в проекте?

2) какое сочетание параметров и характеристик является целесообразным для проектируемого самолета?

Ответ на первый вопрос может быть найден из анализа уравнения баланса масс самолета. На второй вопрос можно получить множество ответов в зависимости от используемого критерия оценки эффективности данного ЛА.

Уравнение баланса масс связывает в единое целое значения параметров и характеристик самолета и называется уравнением его существования. Это уравнение отражает тот факт, что улучшение одних свойств самолета неизбежно влечет за собой ухудшение других.

Уравнение существования ЛА не отвечает на вопрос о целесообразности применения величин выбранного комплекса параметров и характеристик. Для этого необходимо пользоваться критериями оценки эффективности. Если назначение аппарата состоит в получении максимально возможного объема научной информации, то критерием эффективности может быть объем научной информации, полученный за все время эксплуатации ЛА, отнесенный к его стоимости. Однако на ранних этапах проектирования, когда формируется облик ЛА, такой критерий сложно рассчитать. Критерием эффективности на этапе формирования концепции БПЛА может быть, например, дальность полета за сутки, умноженная на вес полезной нагрузки.

Уравнение существования решает в нескольких итерациях, что обеспечивает реалистичность исходных данных для дальнейшего определения базовых проектных параметров и геометрии ЛА.

Проектирование марсианского БПЛА требует модификации традиционного подхода. Это связано с рядом «нетрадиционных» ограничений (например,

с необходимостью доставить аппарат на Марс) и с тем, что требования к самолету и его научная миссия определяются параллельно с процессом проектирования. Статистические данные, полученные на основании обработки информации о существующих проектах марсианских БПЛА, демонстрируют существенные различия во взлетном весе и размерах аппаратов, что делает эти данные ненадежными в качестве исходных данных для нового проекта.

Отправной точкой в нашей работе была выбрана геометрия крыла в плане, а не требования к взлетной массе или эксплуатационным характеристикам, по следующим причинам:

- для доставки на Марс БПЛА должен быть размещен в десантном модуле, что ограничивает его размер в сложенном виде; стремление уменьшить количество узлов складывания ограничивает размах крыла;

- для улучшения аэродинамических характеристик крыльев увеличивают их удлинение; однако с удлинением увеличивается вес крыла и уменьшается устойчивость по крену, что может оказать негативный эффект на летные характеристики аппарата с небольшой нагрузкой на крыло (ориентировочная нагрузка на крыло БПЛА – 10 Н/м^2).

- аэродинамические характеристики профиля крыла, оптимизированного для «марсианских» условий, в частности, для малых чисел Рейнольдса, невысоки.

Размах крыла, соответствующий заданному числу узлов складывания (например, трем), наряду с рациональным значением удлинения, заданным профилем и вычисленными параметрами атмосферы определяют взлетный вес БПЛА в первом приближении.

Количество ограничений, определяющих область существования марсианского самолета, больше, чем у земного самолета. В дополнение к типовым

ограничениям, необходимо принимать во внимание:

- специфические характеристики атмосферы Марса (низкая плотность, низкая скорость звука, низкая температура);

- форму и размер посадочного модуля, что может потребовать применения жестких или надувных нетрадиционных конструкций с высокой степенью технического риска;

- большие перегрузки во время старта и спуска в атмосфере, что приводит к увеличению веса конструкции;

- низкие температуры и радиация, защита от которых приводит к увеличению веса самолета;

- необходимость обеспечения особых условий для бортовой научной аппаратуры (это может ограничивать, например, высоту и скорость полета); также это подразумевает, что продукты сгорания двигательной установки не должны влиять на работу приборов;

- ограничение центра тяжести посадочного модуля, которое также может оказать значительное влияние на «большие» решения, такие как выбор аэродинамической компоновки;

- атмосферная турбулентность и пыль;

- координаты области полета на Марсе, высота полета и время года.

КОНФИГУРАЦИИ БЕСПИЛОТНОГО САМОЛЕТА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МАРСА

Варианты двигателей для марсианских условий, где в атмосфере практически отсутствует кислород, включают:

- ракетный двигатель;

- воздушный винт (приводимый в движение различными источниками энергии).

Интересной и перспективной для разреженной атмосферы Марса явля-

**Базовые конфигурации беспилотного летательного аппарата
для исследования Марса**

Схема БПЛА	Версия БПЛА	Двигательная установка	Профиль полета
Нормальная схема	WT1	Солнечные батареи + аккумуляторная батарея для ночного полета + электродвигатель + воздушный винт	Один продолжительный полет (днем и ночью); долгота ограничена
	WT2	Солнечные батареи + электродвигатель + воздушный винт	Один полет (день); долгота ограничена
	WT3	Ракетный двигатель	Один полет
	WT4	Гидразиновый ДВС + воздушный винт	Один полет
Коробчатый самолет с вертикальными взлетом и посадкой	BW1	Солнечные батареи + аккумуляторная батарея + электродвигатель + воздушные винты	Несколько полетов

ется концепция атмосферного ионного двигателя. Модели такого двигателя находятся на стадии разработки.

Среди множества существующих самолетных аэродинамических схем в рамках данного проекта были выбраны две – нормальная, или классическая схема (оперение расположено за центром тяжести) и коробчатая схема (крыло самолета представляет собой прямоугольник при виде спереди и сверху).

Таким образом, для научного марсианского БПЛА, разработанного в рамках нашего проекта, были сформированы определенные базовые конфигурации (см. табл. 3).

ЧТО ОСОБЕННОГО В КОРОБЧАТОЙ СХЕМЕ КРЫЛА?

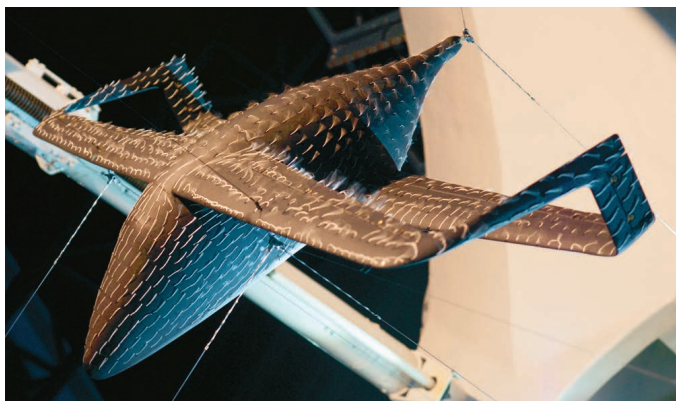
Полетная производительность самолета (объем полезной работы, выполняемой аппаратом в единицу времени) зависит, в частности, от его аэродинами-

ческого качества (отношении подъемной силы к сопротивлению самолета).

При заданной взлетной массе аэродинамическое качество самолета может быть улучшено за счет снижения его лобового сопротивления, в том числе – индуктивной составляющей лобового сопротивления. На отдельных режимах полета индуктивное сопротивление может составлять значительную долю общего сопротивления самолета. Снижение индуктивного сопротивления самолета позволяет почти пропорционально увеличить его взлетный вес.

Среди способов снижения индуктивного сопротивления известны следующие:

- увеличение размаха при сохранении его площади: уже Лилиенталь в 1889 году отмечал, что крыло с большим удлинением создает меньшее сопротивление, чем крыло с той же площадью, но меньшим удлинением;
- форма крыла, обеспечивающая эллиптический закон распределения нагрузки по его размаху;
- применение неплоских схем крыла.



К неплоским схемам крыла относят:

- С-образные крылья и крылья с различными вариантами вертикальных законцовок;
- схему «полиплан»;
- замкнутые схемы крыла (кольцевое, сочлененное, коробчатое).

Первые теоретические работы и практические опыты, относящиеся к исследованию замкнутых схем крыла и их индуктивного сопротивления, связаны с именами Л. Прандтля и его ученика М.М. Мунка. Л. Прандтль показал, что в схеме полиплана с количеством крыльев большим, чем два, нагрузка на внутренние крылья меньше, чем нагрузка на внешние крылья.

К возможным недостаткам коробчатой схемы крыла можно отнести:

- необходимость усиления сжатых элементов конструкции с целью предотвращения потери устойчивости;
- отсутствие статистических данных для осуществления предварительного проектирования;
- большое количество геометрических параметров, требующих оптимизации.

С другой стороны, коробчатая схема крыла позволяет улучшить следующие характеристики самолета:

- аэродинамические: уменьшить индуктивное сопротивление и повысить аэродинамическое качество самолета;

– летно-технические: за счет уменьшения сопротивления увеличить дальность полета;

- прочностные: увеличить жесткость крыла.

В рамках проекта беспилотного самолета для исследования Марса дополнительными достоинствами коробчатой схемы являются ее компактность и удобство расположения на жестких крыльях воздушных винтов для обеспечения тяги, балансировки и управления по всем трем каналам.

Концепция коробчатого крыла проходила экспериментальную отработку во многих научных центрах мира, в частности, в аэродинамической лаборатории МАИ.

К настоящему времени в рамках нашего проекта проработаны три конфигурации БПЛА: самолет нормальной схемы с электрической (конфигурация WT1) и ракетной (WT2) двигательной установкой и электрический самолет вертикального взлета и посадки с крылом коробчатой схемы (BW1).

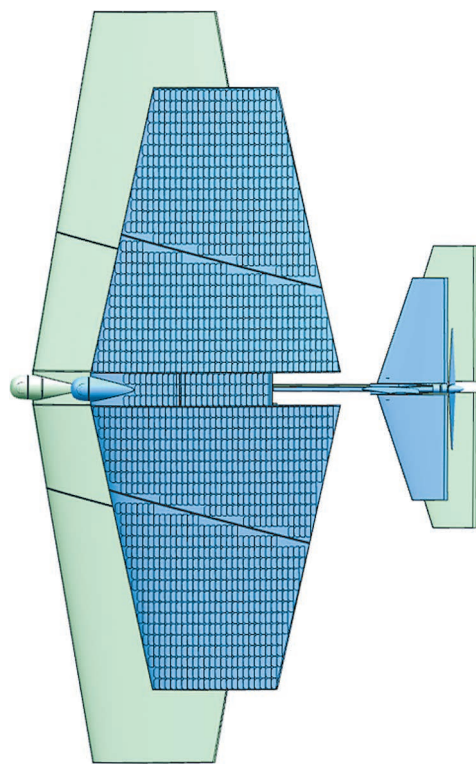
Оптимизированные версии самолета нормальной схемы WT3 и WT1 имеют одинаковые профили крыла и оперения, одинаковую плановую геометрию крыла и хвостового оперения, разные размеры и вес. Рассмотренные компоновки имеют близкие крейсерские скорости и спроектированы под

полезную нагрузку равного веса. Необходимость размещения ракетного двигателя, топливного бака и баллона высокого давления в фюзеляже делает конфигурацию WT3 более сложной при проектировании. Продолжительность полета ракетного самолета ограничена объемом топливного бака и массой топлива; однако зона эксплуатации этого самолета не ограничена областями, временем года и днями с относительно высокой интенсивностью солнечного излучения. Поэтому, например, он может исследовать глубины кратеров и каньонов, после чего сможет служить стационарной платформой.

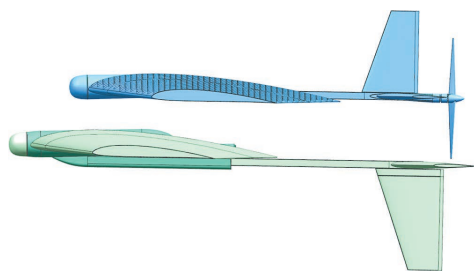
Солнечный БПЛА может осуществлять полет только при определенных атмосферных условиях. Поскольку интенсивность солнечного излучения за-

висит от географических координат, аэроцентрической долготы и альбедо, успех миссии, выполняемой солнечным беспилотником, связан с высокой степенью неопределенности. Подходящей научной миссией для солнечного БПЛА без возможности вертикального взлета и посадки может быть измерение атмосферных параметров для получения турбулентных и радиационных потоков в пограничном слое атмосферы. Это позволит нам расширить географический и временной охват измерений, доступных в настоящее время для планетарного пограничного слоя Марса.

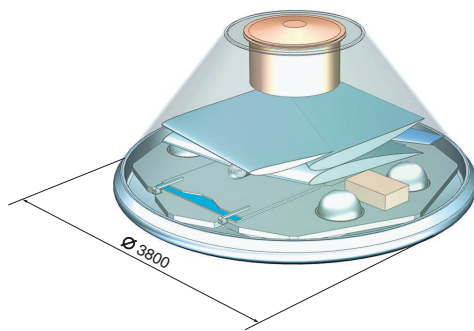
Уточненные расчеты показали, что круглосуточный полет марсианского самолета на солнечной энергии при принятых исходных данных невозможен, поскольку сопротивление



Конфигурации WT1 и WT3. Вид сверху



Конфигурации WT1 и WT3. Вид сбоку



WT3 в сложенном виде внутри десантного модуля

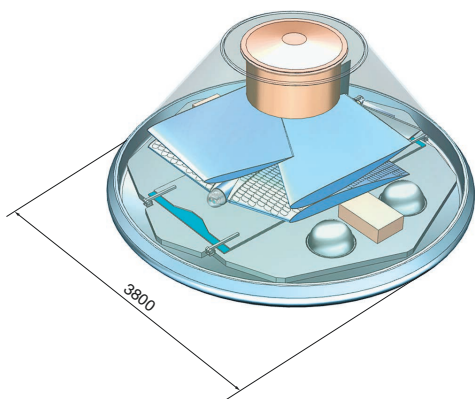
самолета велико и батарея не успевает зарядиться за светное время для обеспечения полета ночью.

Решением проблемы, связанной с низкой интенсивностью солнечного излучения на Марсе и ограниченной продолжительностью полета компонентов WT3 и WT1, может быть оснащение летательного аппарата устройством для вертикального взлета и посадки. У самолета BW1 вертикальные взлет и посадка, а также горизонтальный полет в «самолетном» режиме осуществляются за счет поворота всего планера. Управление, балансировка и тяга этого ЛА обеспечиваются винтами, установленными на передней кромке крыльев. Такое решение, а также компактность полезной нагрузки и оборудования позволяют спроектировать этот ЛА без фюзеляжа и оперения.

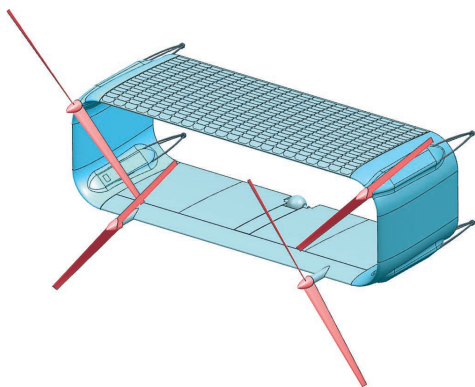
Расчеты показали, что относительный вес конструкции и двигательной установки конфигурации BW1 составляет около 32 и 30% соответственно, при довольно значительном относительном весе полезной нагрузки (около 20%). При реализуемых значениях относительного веса аккумуляторной батареи, которые составляют 5–10%, масса летательного аппарата колеблется от 18.5 до 21 кг при массе полезной нагрузки от 3 до 4.8 кг. Дальность крейсерского режима полета существенным образом зависит от крейсерской высоты; максимальная дальность в горизонтальном полете для данного летательного аппарата составляет 85 км.

ПРОФИЛИ ПОЛЕТА БПЛА

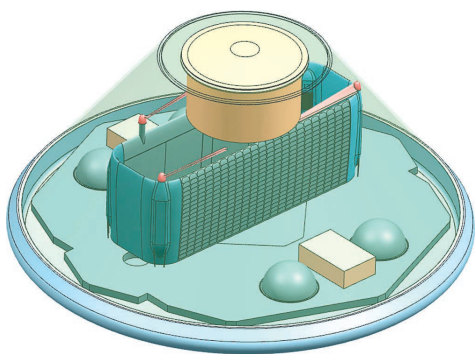
Из трех рассмотренных компоновок наиболее перспективной можно считать BW1, поскольку это «многоразовый» самолет, следовательно, его полетная производительность существенно выше, чем у конфигураций WT3 и WT1.



WT1 в сложенном виде внутри десантного модуля

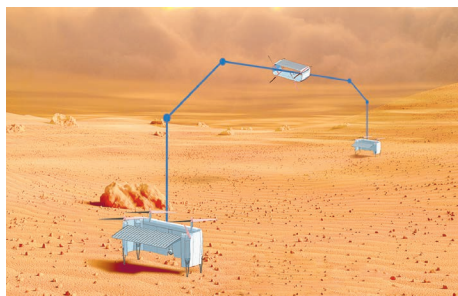


Конфигурация BW1

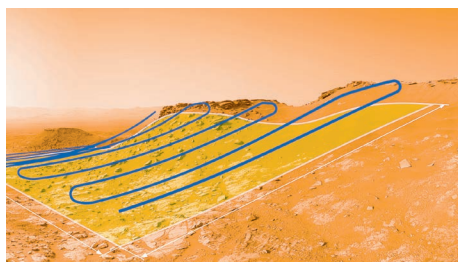


BW1 внутри десантного модуля

Профили полета BW1

Полет на максимальную дальность, перенос научной станции, измерения на поверхности

Высота полета	150 м
Дальность полета	73 км
Продолжительность полета	22 мин
Масса полезной нагрузки	4.8 кг
Крейсерская скорость	54 м/с
Глубина разряда батареи	0.3

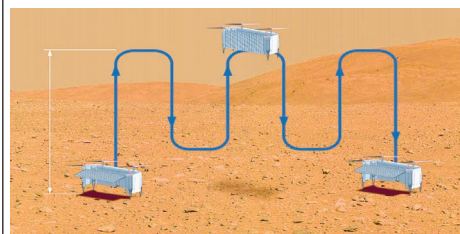
Картографирование в горизонтальной плоскости

Рабочая дальность лидара	60 м
Рабочая высота полета	49 м
Точность сканирования лидара	3–5 см
Масса лидара	0.8 кг
Частота сканирования (одинарное отражение)	240 000 Hz

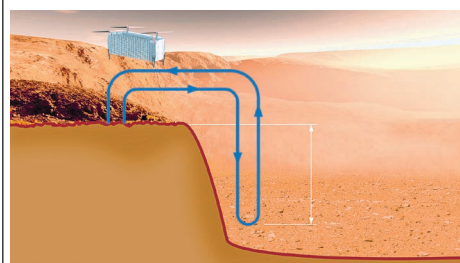
Результат расчета области сканирования

Плотность облака точек	54 точки/м ²
Ширина полосы сканирования	68 м

Максимальная высота полета	49 м
Площадь сканирования в секунду	440 м ² /с
Перекрытие полосы сканирования	30%
Отсканированная площадь	1.13 км ²

Измерение параметров атмосферы в вертикальной плоскости

Вертикальная скорость набора высоты	1 м/с
Вертикальная скорость спуска	1 м/с
Максимальная высота	190 м
Время набора максимальной высоты	3.2 мин
Глубина разряда батареи	0.7



Вертикальная скорость спуска	1 м/с
Вертикальная скорость набора высоты	1 м/с
Максимальная глубина	190 м
Время спуска на максимальную глубину	3.2 мин
Глубина разряда батареи	0.7

Для компоновки BW1 мы рассматриваем четыре базовых профиля полета, представленных в табл. 4.

При полете на максимальную дальность на высоте 49 м расчетная дальность БПЛА составляет 73 км, что соответствует 22 минутам полета на скорости 54 м/с. При выполнении картографирования на высоте 49 м БПЛА может охватить область поверхности площадью 1.13 км² при 30% перекрытии соседних полос сканирования. Из-за существенно ограниченного времени на вертикальных режимах разница в плотности атмосферы при подъеме в атмосферу и при спуске в кратер практически не влияет на ожидаемые летно-технические характеристики БПЛА: при вертикальной скорости 1 м/с максимальная высота подъема и минимальная глубина спуска в кратер составляют около 190 м.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Есть ли на Марсе признаки жизни – в настоящем или в прошлом? Вероятно, это один из самых интригующих вопросов, связанных с Красной планетой. Научные поиски свидетельств существования жизни на Марсе начались в XIX веке, но и в настоящее время они составляют важную часть каждой марсианской миссии. Возможно, наш проект позволит найти ключ к главной загадке Марса, а также обогатит наши знания об эволюции планеты и ее современном климате. Такая информация может быть очень ценной для планирования будущих экспедиций на Марс.

Этот проект был поддержан Российским научным фондом, грант № 22-49-02047.

Литература

1. Reed R.D. High-flying Mini-Sniffer. 1978.
2. Gasbarre J.F., Dillman R.A. Preliminary design and analysis of the ARES atmospheric flight vehicle thermal control system. 2003.
3. NASA, A concept study of a remotely piloted vehicle for mars exploration. NASA, 2013.
4. Walker D.D. Preliminary design, flight simulation, and task evaluation of a Mars airplane. 2008.
5. Kearns J., Usui M., Smith S.W., iScarborough S.E., iSmith T., iCadogan D.P. Development of UV-curable inflatable wings for low-density flight applications. 2004.
6. Jacob J.D., Lump J.E., Smith S.W., Smith W.T. Multidisciplinary design experience of a high altitude inflatable wing UAV for aerospace work force development. 2006.
7. Colozza A., iMiller C., iReed B., Kohout L., Loy-selle P. Overview of Propulsion Systems for a Mars Aircraft. 2001.
8. Hanbing S., Underwood C. A Mars VTOL Aero-bot Preliminary Design, Dynamics and Control / in IEEE Aerospace Conference Proceedings. Guildford, 2007.
9. Appelbaum J., Landis G.A., Sherman I.R. Solar radiation on Mars / Update 1991. Solar Energy, 1990. Vol. 50. P. 35–51.
10. Mars Climate Database v5.3, 2023 [Online]. Available: http://www-alternate-mars.lmd.jussieu.fr/mcd_python/
11. Noth A. Design of Solar Powered Airplanes for Continuous Flight [PDF] // Design of Solar Powered Airplanes for Continuous Flight. Semantic Scholar, 2008.
12. Ionel S. High Energy Density Lithium Ion Cells with Silicon Nanowire Anode Technology. 26.08.2023 [Online]. Available: <https://www1.grc.nasa.gov/wp-content/uploads/5-Amprius.pdf>
13. Dörfler S. et al. Recent Progress and Emerging Application Areas for Lithium–Sulfur Battery Technology. Energy Technol, 2021.
14. Вестник НПО имени С.А. Лавочкина, №4. Москва, 2017.
15. Ефанов В.В., Карчаев Х.Ж. (ред.). Сегмент Российской международной экспедиции ЭкзоМарс-2022. Научное издание в 2-х томах. Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина, 2020.

НА МИМАСЕ ОБНАРУЖИЛИ МОЛОДОЙ ОКЕАН

DOI: 10.7868/50044394824010067

Группа астрономов из Франции и Китая нашла еще одно подтверждение тому, что на самом маленьком регулярном спутнике Сатурна – Мимасе под слоем льда толщиной 20–30 км может скрываться океан. Как подсчитали авторы, образовался он по геологическим меркам недавно – не позднее 25 млн лет назад и продолжает эволюционировать и сейчас.

В настоящее время известны подледные океаны на нескольких небесных телах: на Церере – карликовой планете из пояса астероидов, на спутнике Юпитера Европе, спутнике Сатурна Энцеладе. Но они выдают себя активностью на

поверхности в виде гейзеров, криовулканизма, появлением разломов.

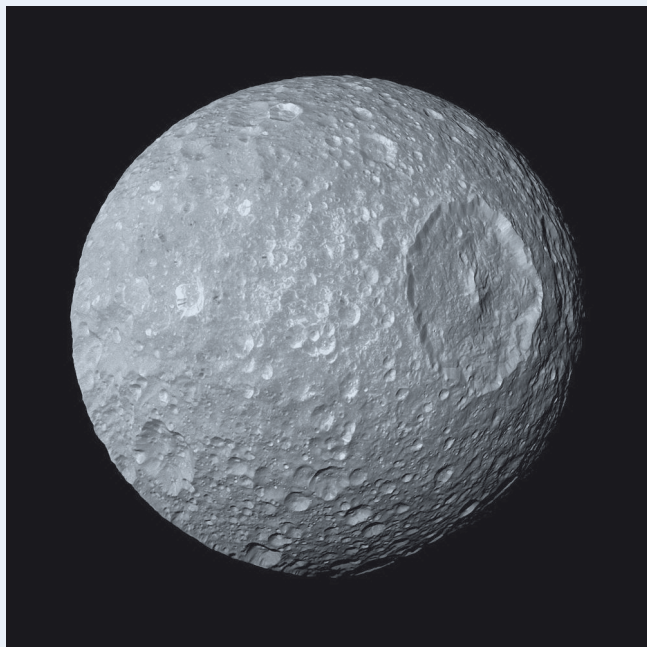
Мимас же может стать примером небесного тела с «тихим» океаном, который никак не проявляется внешне. По мнению авторов работы, их исследование поможет найти подобные «тихие» океаны среди спутников Урана или объектов пояса Койпера.

Интерес астрономов к существованию подледных океанов огромный – ведь в воде в присутствии постоянного источника энергии вполне может существовать простейшая жизнь.

Мимас – самый близкий и самый маленький регулярный спутник Сатурна. Его радиус составляет всего 198.2 км, а поверхность покрыта водяным льдом с включением горных пород и испещрена кратерами. Самый большой и известный кратер – Гершель – назван в честь английского астронома Уильяма Гершеля, первооткрывателя Мимаса.

О том, что на спутнике может скрываться океан, ученые предположили еще в 2014 г., когда стали анализировать данные о его либрации (небольшом «пошатывании» оси вращения), которые передала станция «Кассини» (ESA). Тогда Радван Таджеддин (*Radvan Tajeddine*) из Корнеллского университета (США) и его колле-

Фотография Мимаса, сделанное КА «Кассини» (ESA) в 2010 г.
Источник: NASA/JPL-Caltech/Space Science Institute



ги выдвинули гипотезу о том, что внутри спутника скрывается вытянутое силикатное ядро или глобальный океан. С тех пор дискуссия о внутреннем строении Мимаса продолжается.

Авторы нового исследования под руководством Валери Лейни (*Valéry Lainey*) из Парижской обсерватории, также на основе данных «Кассини» за 13 лет, провели детальный анализ орбитального движения Мимаса, обратив особое внимание на дрейф перицентра его орбиты.

«Результаты нашей работы показывают, что на Мимасе под толщей льда протяженностью 20–30 км скрывается глобальный океан... Построенная нами модель внутреннего строения спутника на основе данных его орбитального движения демонстрирует, что лед на его поверхности сформировался все-

го 2–3 миллиона лет назад, и на протяжении этого времени океан активно рос. Этого времени слишком мало, чтобы можно было увидеть выходы вещества на поверхность в виде гейзеров или образование трещин. Возможно, что какая-то геологическая активность у Мимаса проявится в будущем», – пишут авторы в статье, опубликованной в журнале *Nature*.

По их мнению, Мимас может стать прекрасной моделью изучения развития подледных океанов. Также вполне возможно, что небольшой спутник станет еще одним кандидатом на небесные тела, где теоретически возможна жизнь.

Lainey V., Rambaux N., Tobie G., Cooper N., Zhang Q., Noyelles B., Bailli K. A recently formed ocean inside Saturn's moon Mimas. Nature, 2024; 626 (7998): 280 DOI: 10.1038/s41586-023-06975-9

ТЕЛЕСКОП ALMA УВИДЕЛ В ПРОТОПЛАНЕТНОМ ДИСКЕ ОГРОМНУЮ МАССУ ВОДЫ

DOI: 10.7868/S00044394824010079

Группе американских и европейских астрономов впервые удалось выяснить как водяной пар распределяется в газопылевом диске у молодой звезды HL Тельца и «взвесить» его. По подсчетам авторов, в пределах снеговой линии диска (там, где вода не замерзает) содержится эквивалент 3.7 земных океанов. Исследование важно тем, что помогает понять раннюю эволюцию Солнечной системы и, возможно, приближает ученых к ответу на главный вопрос – как вода появилась на Земле. Результаты опубликованы в журнале *Nature Astronomy*.

Астрономы проводили наблюдения за протопланетным диском моло-

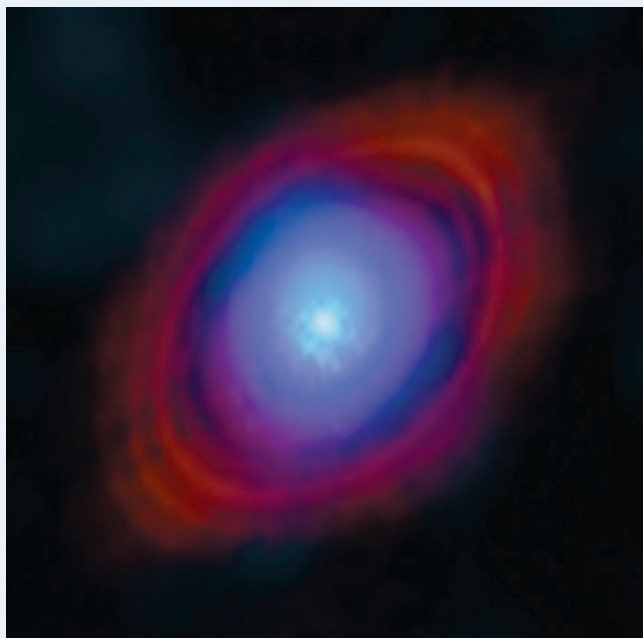
дой звезды HL Тельца на наземном телескопе ALMA.

ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array – Атакамская Большая Миллиметровая/субмиллиметровая Решетка) находится в Чили. Это огромный радиointерферометр, состоящий из более чем 60 радиотелескопов, разбросанных по пустыне Атакама на высоте более пяти тысяч метров над уровнем моря.

HL Тельца находится на расстоянии 450 световых лет от Земли. Это совсем молодая звезда – ее возраст составляет около миллиона лет, а масса оценивается в 2.1 массы Солнца. Ранее телескоп ALMA уже смог увидеть довольно отчетливую систему колец

Распределение водяного пара в протопланетном диске HL Тельца (синий цвет) по данным ALMA. Красным цветом показано распределение пыли (по результатам предыдущих наблюдений).

Источник: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)/S. Facchini et al.



протопланетного диска вокруг нее. А с помощью орбитального телескопа «Гершель» (ESA) и на основе наземных наблюдений в среднем инфракрасном диапазоне там был обнаружен горячий водяной пар.

Авторам нынешнего исследования впервые удалось выяснить, как этот пар распределяется в пространстве и где проходит граница «снеговой линии» – граница в протопланетном диске, за которой вода из твердой фазы переходит в пар. Предполагается, что именно вблизи этой линии особенно эффективно накапливаются пылинки и формируются ядра будущих планет.

По подсчетам ученых, снеговая линия в диске HL Тельца проходит на расстоянии 17 а. е. от звезды. Именно из этой области исходит большая часть наблюдаемого излучения водяного пара. По определенной методике авторы рассчитали, что там содержится эквивалент, как минимум, 3,7 объема всех земных океанов. В более дальних областях диска вода нахо-

дится уже в виде льда на поверхности пылинок.

Интересно, что астрономы увидели водяной пар в нескольких «пробелах» протопланетного диска – предполагается, что именно там происходит образование планет, когда новая планета постепенно «съедает» материал газопылевого диска. Это может означать, что вода играет важную роль на стадии формирования планет.

По словам авторов, в будущем они планируют более детально исследовать протопланетный диск HL Тельца и распределение в нем молекул воды с помощью ELT (Чрезвычайно Большого Телескопа, The Extremely Large Telescope) – обсерватории, которую сейчас строят в Чили и которая должна заработать в 2028 г.

Facchini S., Testi L., Humphreys E. et al. Resolved ALMA observations of water in the inner astronomical units of the HL Tau disk. *Nat Astron* (2024). <https://doi.org/10.1038/s41550-024-02207-w>

Подготовила А.Ф. Говорова

СОВРЕМЕННОК БУДУЩЕГО

ФЕЛЬДМАН Давид Маркович,

доктор исторических наук

Российский государственный гуманитарный университет

DOI: 10.7868/50044394824010080

ВМЕСТО ПРОЛОГА

Александр Романович Беляев вошел в историю отечественной литературы как писатель-фантаст. Так его обычно характеризовали авторы многочисленных публикаций в советскую эпоху.

Он и за границей был известен еще на исходе 1920-х гг. К примеру, его романами восхищался признанный классик фантастики Г. Уэллс.

Тридцать лет спустя Беляеву приписывали удивительный дар провидения многих технических достижений XX века, называли даже «одним из основоположников советской научной фантастики». Что до биографов, то они в советскую эпоху ориентировались на сведения, которые сам писатель сообщал. Разумеется, использовались еще и материалы справочных изданий, но там авторы статей тоже воспроизводили сообщенное Беляевым¹.

Его научную биографию впервые составил израильский славист З. Бар-Селла. Она выпущена издательством «Молодая гвардия» в серии «Жизнь замечательных людей» весной 2013 г.²

¹ См., напр.: Орлов О. А.Р. Беляев (биографический очерк) // Беляев А.Р. Собр. соч. В 8 т. М.: Молодая гвардия, 1964. Т. 8. С. 497–516; Ляпунов Б.В. Критико-биографический очерк. М.: Советский писатель, 1967.

² Здесь и далее при отсутствии дополнительных ссылок цит. по: Бар-Селла З. Александр Беляев. М.: Молодая гвардия, 2013.



Портрет А.Р. Беляева. Художник С. Бродский.
Опубликовано в: Александр Беляев.
Избранные научно-фантастические
произведения. В трех томах. Том 1.
М.: Молодая гвардия, 1957. 568 с.

Бар-Селла, используя архивные документы, материалы периодики, мемуары и личные свидетельства ряда исследователей, устранил ряд противоречий в изданных жизнеописаниях Беляева, а также мистификаций, созданных им самим и писавшими о нем. Выявлено и множество неучтенных публикаций в периодике.

Как известно, биография писателя – в первую очередь, его книги. Странностями Бар-Селлы наследие Беляева рассмотрено в литературном контексте досоветской и советской эпох, причем без каких-либо цензурных ограничений.

Это обстоятельство крайне важно. Речь ведь шла о современнике писателей, считающихся классиками отечественной литературы XX века. Например, М.А. Булгаков, И.А. Ильф, Е.П. Петров, Ю.К. Олеша, А.Н. Толстой. Анализируется также влияние трудов ряда знаменитых философов и естествоиспытателей, например Е.П. Блаватской, Н.Ф. Федорова, К.Э. Циолковского.

Известна точная дата рождения Беляева: 6 ноября 1884 г. Популярности он добился, когда ему было уже за сорок.

Но одно дело читательское признание, а другое – благосклонность официальных инстанций. К примеру, в 1929 г. издательство Коммунистической академии выпустило первый том «Литературной энциклопедии», где статьи о Беляеве нет.

При этом он тогда жил в Ленинграде, уже более трех лет его романы, повести, рассказы, очерки, статьи печатали местные и московские периодические издания, а три книги выпустило столичное издательство. У большинства советских писателей, упомянутых в авторитетном энциклопедическом издании, библиография гораздо короче беляевской.

Отношение к нему – официальное – не изменилось и к 1934 г. Среди почти шестисот отечественных делегатов состоявшегося тогда Первого Всесоюзного съезда советских писателей Беляева нет.

Делегатами, разумеется, стали те, чей писательский статус признали бесспорным официальные инстанции. Беляев же оказался недостойным делегатского мандата.

Несколько позже приняли в ССП и Беляева. Все же учли колоссальную популярность.

К ней большинство критиков относилось скептически. О Беляеве рецензенты писали нечасто. Обычно – брали.

Летом 1938 г. Беляев, его дочь, жена и теща переехали в город Пушкин, очередной раз переименованное Царское Село. Квартира просторнее ленинградской, быт спокойнее.

Беляев тяжело болен тогда. Однако даже с началом Великой Отечественной войны по-прежнему работает, печатается в периодике.

В сентябре 1941 г. Пушкин заняли без боя немецкие войска. Советское командование так и не успело организовать хоть какую-то оборону.

По своему обыкновению оккупанты уничтожали евреев, семьи начальствующего состава Красной Армии, советской администрации, да и всех, кто не проявил должной покорности. Население обязали пройти регистрацию в новом административном центре – Городской управе. Тогда жена Беляева, используя паспорт матери, получила статус «личности немецкого происхождения, частично смешавшейся с местным населением».

Этот статус давал некоторые льготы, позволявшие выжить в оккупированном городе, население которого буквально вымирало от голода и холода. Но пока соответствующие документы оформлялись, Беляев умер.

Точная дата его смерти неизвестна. Бар-Селла, анализировавший различного рода свидетельства, установил, что умер Беляев «не позднее 23 декабря 1941 г.».

Первая из посмертных беляевских публикаций – в 1946 г. Один из романов был републикован ленинградским отделением издательства «Детская литература».

Затем руководители издательств словно забыли о белаяевском наследии. Однако в 1956–1957 гг. выпущены два собрания сочинений: двухтомное и трехтомное. Их немалые тиражи раскупали в считанные дни. Читатели слали восторженные отзывы в редакции, ленинградский журнал «Звезда» опубликовал в февральском номере за 1958 г. пространную статью С.П. Полтавского: «Второе рождение писателя-фантаста (А. Беляев)»³.

Неуместными Полтавский объявил все прежние негативные оценки. По его словам, Беляева «подвергали критике люди приземленного воображения, робкой фантазии, склонные подчас забывать о специфике жанра».

Инвективы критиков характеризовались вкратце. Беляеву, по словам Полтавского, инкриминировались «и научная “недостоверность” сюжетов, и тяготение к зарубежной тематике, и следование литературным традициям западной фантастики, и даже увлекательность произведений, которую отождествляли с “развлекательностью”».

Согласно Полтавскому, только критики виноваты. Бранили они Беляева, а потому «издательства не проявляли большого интереса к его произведениям, и в послевоенное время их почти не переиздавали».

Полтавский лишь на три года моложе Беляева, литературовед и критик с досоветским стажем, о фантастике писал еще в 1920-е гг. Не мог он не знать, что его вывод, мягко говоря, недостоверен. Но другой был невозможен в силу цензурного запрета.

Обусловившие цензурный запрет причины стали известны через много лет. По решению немецкой администрации семья Беляева уже после его смерти была отправлена в оккупиро-

ванную Эстонию. Конечно, не в санаторий, а на работу⁴.

Осенью 1944 г. всех получивших статус «личности немецкого происхождения» перевезли в Германию. Тоже на работу.

Жена и дочь Беляева вернулись на родину в сентябре 1945 г. Ну а дальше – фильтрационный лагерь, допросы, проверки и ссылка в Барнаул. Пожизненная. Можно сказать, еще легко отделались.

Теперь – про историю переиздания белаяевского романа в 1946 г. Редакционная подготовка началась сразу после войны, о смерти писателя тогда знали в ленинградской редакции, а судьба наследниц оставалась неизвестной. Ситуация обычная в ту пору. Книга вышла, и тут выяснилось: жена и дочь автора осуждены. Пусть лично он перед советской властью не провинился, но родство с осужденными – тоже вина, да и гонорары им не положены. Соответственно, последовал запрет дальнейших публикаций.

Он не был отменен еще и в силу другого фактора, который выявил тоже Бар-Селла. В 1947 г. мюнхенское эмигрантское издательство републиковало один белаяевский роман. Для этого была использована выпущенная на двадцать восемь лет раньше книга, попавшая в Германию. Немецкое издание, конечно, попало к сотрудникам Министерства государственной безопасности, так что вывод подразумевался: автор ушел вместе с оккупантами.

В 1955 г. жена и дочь Беляева оправданы. Им опять повезло: в лагерях и ссылках еще ждали своей очереди многие другие, не имевшие влиятельных заступников «перемещенные лица».

Ко второй половине 1950-х гг. партийное руководство сочло целесо-

³ Здесь и далее цит. по: Полтавский С. Второе рождение писателя-фантаста (А. Беляев) // Звезда, 1958. № 2. С. 225–2.

⁴ Сообщено Б.В. Соколовым.

образным уделить особое внимание фантастике. Проектировались межконтинентальные ракеты, готовился запуск первого спутника, освоение космического пространства стало задачей вполне актуальной. Вот и причины «второго рождения писателя-фантаста». Дальше – посмертная слава Беляева.

НА ПУТИ К ДЕБЮТУ

Родился Беляев в Смоленске. Отец его был тогда настоятелем церкви и, продолжая семейную традицию, отправил десятилетнего сына в духовное училище. Это начальное учебное заведение.

Курс училища Беляев окончил с отличием в 1898 г. За что и переведен – вместе с другими отличниками – в первый класс Смоленской духовной семинарии.

Для Беляева это был компромисс. Решающими оказались два фактора: мнение отца и возможность учиться бесплатно.

В 1904 г. Беляев окончил семинарию. Отец планировал, что сын будет его преемником, но тот отправился в Ярославль. Там поступил в частный Демидовский юридический лицей.

Это было высшее учебное заведение с университетскими правами. Основано в 1803 г. Александром II по инициативе известного ученого, действительного статского советника П.Г. Демидова. Исходное название – Демидовское высших наук училище.

Финансировалось оно Демидовым, затем его наследниками. С 1868 г. переименовано: Демидовский юридический лицей. Обучение четырехлетнее.

Беляев прервал его в 1905 г. Не по своей воле: 9 января – Кровавое воскресенье, затем волна фабрично-заводских стачек по стране и всероссийская студенческая забастовка.

Студентам не до занятий. Демонстрации протеста, митинги. 17 октября, как известно, царский манифест о даровании свободы не только слова, но также «собраний и союзов».

Беляев уже тогда участвовал в деятельности партии социалистов-революционеров. Неизвестно только, вступил ли в нее формально или остался так называемым сочувствующим.

В 1905 г. умер отец Беляева. До поры семья не бедствовала, и все же расходы на оплату лицейского обучения стали более обременительными.

С весны 1906 г. Беляев – корреспондент газеты «Смоленский вестник», публикует материалы о быте фабричных рабочих. Журналистские гонорары в ту пору вполне солидные.

Он довольно часто печатался. Его репортажи и очерки подготовлены тщательно, стиль гладкий, изложение последовательно, эмоционально. Семинарская ли риторическая выучка тому причиной или природная одаренность, в любом случае можно сказать, что виден уже состоявшийся журналист. Но писателя Беляева еще не разглядеть.

Биографами отмечено: будучи семинаристом, а затем студентом, Беляев увлекался литературой и театром. Если верить его собственным и мемуарным свидетельствам, об актерской карьере мечтал. Участвовал в любительских спектаклях, даже и режиссировал их. Это документально подтверждено. Опровергнутыми же оказались сведения о его выступлениях на профессиональной сцене.

Лицейские занятия возобновились на исходе 1906 г. Беляев вновь отправился в Ярославль, сотрудничество с газетой прекратил – временно.

Оно возобновлялось, можно сказать, sporadически: лицейские занятия оставляли не так уж много свободного времени. Как журналист Беляев тогда

специализировался на рецензиях: театры и концерты.

В 1908 г., еще до окончания лицея, он женился. Брак длился недолго – появился соперник. От унижительной процедуры установления и документирования супружеской неверности, без чего в Российской империи развод был затруднен, Беляев избавил жену: взял на себя вину.

Дипломированным юристом Беляев стал в 1909 г. Он и в лицее был отличником, вот только обычный срок обучения увеличился – по независимым от студента вышеперечисленным причинам.

Вернувшийся в Смоленск Беляев получил должность помощника присяжного поверенного, т. е. ассистента полноправного адвоката, обладающего собственной конторой. Чтобы вступить в местную адвокатскую коллегию, требовалось пройти стажировку – пять лет.

Похоже, что стать знаменитым адвокатом Беляев не спешил. Брался за дела, как говорится, малоденежные. Правда, защиты проводил удачно.

В его юридической практике были не только уголовные и гражданские дела. На процессе эсеров, которых судили в декабре 1909 г., защите удалось значительно снизить требуемые обвинением сроки тюремного заключения для двух обвиняемых, а одного присяжные оправдали.

Сам Беляев уже с 1908 г. – под негласным полицейским надзором. Трудно судить, знал ли о том. Известно только, что слежка велась постоянно.

Осенью 1909 г. в квартире, где Беляев жил вместе с матерью, проведен обыск. Полицейские не обнаружили ничего предосудительного, однако наблюдение продолжалось еще несколько лет. Характер поднадзорного отражен данной в донесениях агентов полиции кличкой – «Живой».

Меж тем его адвокатская карьера была на подъеме. Аналогично и журналистская. «Смоленский вестник» в 1910–1913 гг. регулярно печатал беляевские фельетоны, театральные обзоры, статьи о концертах, выставках, публичных научных лекциях.

Однако юриспруденция и журналистика – лишь средства заработка. Судя по мемуарным свидетельствам, Беляев уже решил стать писателем.

В 1913 г. он вновь женился. Вместе с женой отправился в заграничное путешествие: Германия, Франция, Бельгия, Италия, Швейцария. Свадебный вояж длился более месяца и обошелся недешево.

Полтавским в статье 1958 г. подчеркнуто, что Беляев не выезжал никогда за границу, при этом с удивительной точностью описывал иностранные реалии. Знал ли биограф о путешествии сорокапятилетней давности, нет ли, опубликовать такие сведения все равно не удалось бы: старательно формируемому образу исключительно советского писателя не соответствовал длительный заграничный вояж преуспевающего юриста.

Беляев же, вернувшись, поделился впечатлениями с читателями «Смоленского вестника». Рассказывал, как заглянул в кратер Везувия, совершал экскурсию на гидроплане, характеризовал театральную публику.

Он тогда готовился к писательскому дебюту. Летом 1914 г. московский детский журнал «Проталинка» опубликовал в бесплатном приложении «Знавес поднят» беляевскую пьесу-сказку «Бабушка Мойра».

Согласно мнению исследователей, начинающий писатель оказался под влиянием популярнейшего тогда М. Метерлинка. Образец легко угадывался: знаменитая пьеса-притча «Синяя птица», осенью 1908 г. постав-



Обложка второго тома собрания избранных произведений А.Р. Беляева, выпущенных издательством «Молодая гвардия» в 1957 г. Включены романы «Голова профессора Доуэля», «Звезда КЭЦ», «Продавец воздуха», повесть «Вечный хлеб». Художник С. Бродский

ленная К.С. Станиславским в Московском художественном театре.

Дебют Беляева не привлек особого внимания критики, что закономерно. Мировая война началась летом 1914 г.

Беляев мобилизации не подлежал, даже если бы не был адвокатом. От воинской повинности освобожден по медицинским показаниям: зрение не соответствовало нормативу.

В 1914 г. закончилась стажировка Беляева. Он получил статус присяжного поверенного. Но вскоре адвокатскую практику оставил: издателем

«Смоленского вестника» была предложена должность главного редактора.

Ее Беляев занял не сразу. Надлежало еще получить так называемую справку о благонадежности. Оформление шло неспешно, однако формальную причину для отказа в полиции не обнаружили: надзор был уже отменен.

До окончания проверки Беляев числился секретарем редакции. Лишь с февраля 1915 г. – главный редактор. Но должность эту занимал менее полутора месяцев, после чего вернулся к адвокатской работе.

По мнению Бар-Селлы, причина ухода из редакции – конфликт с издателем. Такой вывод подтверждается тем, что в дальнейшем Беляев не печатался в «Смоленском вестнике».

Дело не в политических разногласиях. Судя по библиографии самого Беляева, он своим публикациям уделял гораздо больше времени, чем рутинной организаторской работе, а главному редактору именно за нее платят.

Рутинна и адвокатская работа. Каждая удача в суде – результат не столько риторического вдохновения, сколько долгой и кропотливой подготовки документов. Звездам адвокатуры документацию готовят многочисленные помощники, а таких еще нет у Беляева. Да и надобности в них тоже, если мечта – писательство. Следовательно делать выбор, значит, вновь менять повторно налаженный быт. Для этого требовалась решимость. Или – фактор вынуждения. Форс-мажор.

ВТОРОЙ ДЕБЮТ

1915 г. был рубежным. Однако не только потому, что Беляев доказал себе: на журналистские гонорары вполне можно жить, и реализация мечты о писательстве – вопрос лишь решимости.

В июне Беляев навсегда уехал из родного города. Причина – форс-мажор. Болезнь. Началась она весной: плеврит. Делавший пункцию врач допустил какую-то ошибку, возможно, иглой занес инфекцию в спинной позвонок. Результат – костный туберкулез. Жизнь уже состоявшегося журналиста и начинающего писателя изменилась кардинально.

Еще до того, как был поставлен окончательный диагноз, появились опасные симптомы: приступы слабости, частичный паралич. Врачи рекомендовали сменить климат. На скорое выздоровление рассчитывать не приходилось. Жена не стала ухаживать за больным мужем. После развода мать увезла Беляева на юг – лечиться. Поселились они в Ростове-на-Дону.

Этот период биографии писателя – южный – выявил Бар-Селла. Включая и публикации Беляева.

Как установил Бар-Селла, новое место жительства выбрал сам Беляев. Не только из-за мягкого климата. В Ростов-на-Дону тогда эвакуирован Императорский Варшавский университет, где служили многие известные частнопрактикующие медики, и стоимость их услуг была гораздо ниже, чем на дорогих морских курортах. Наконец, газет издавалось гораздо больше, чем в Смоленске, значит, легче найти заработок.

С июля 1915 г. началось сотрудничество с газетой «Приазовский край». Печатался Беляев регулярно: театральные и международные обзоры, рецензии, фельетоны, статьи юридической тематики, даже и так называемые передовицы.

Все это относилось лишь к области журналистики. Собственно писательский дебют состоялся 25 декабря. В рождественском номере: «Берлин в 1925 году. Очерк А.Р. Беляева».



А.Р. Беляев в 1915 г. Фотограф неизвестен

Разумеется, это не «очерк», а фантастический рассказ. Для Беляева – дебютный. Жанру соответствует не только определение времени действия. Повествование маркирует сказанное в первом абзаце: «Как я попал сюда, не знаю. И почему сейчас 1925-й, а не 1915 год, тоже не знаю».

О себе повествователь сообщает немного. Сведения к прошлому относятся: «Последний раз я был в Берлине за год до минувшей войны».

Берлин автор посетил в 1913 г., значит, когда и повествователь. Ну а тот отмечает, что внешне город «мало изменился. Так же размеренно течет среди каменных громад людская масса – точно мутные волны Шпрее, заключенные в гранитные берега, пламенем электрических реклам объаты по вечерам дома».

Повествователь решает зайти в пивную. Там – все непривычно: «Играет механический оркестрион, неподражаемо воспроизводящий звуки струнного оркестра. Кельнеров нет. Пиво и закуски отпускаются механическими ящиками. Медленно вращается в стене

диск, увлекает куда-то порожнюю посуду, которую посетители сами ставят на диск».

Сосед по столику узнает в повествователе русского. За разговором выясняется, что собеседник – «ветеран минувшей кампании».

Он и рассказывает о поражении Германии. Потери огромны, к тому же почти десять процентов оставшихся в живых мужчин искалечены. Вот и у собеседника повествователя «рука ампутирована выше локтя».

Увечье почти незаметно. Как утверждает собеседник, немецкая ортопедия творит чудеса. Ну а механизация, по его словам, позволяет компенсировать «убыль в людях. Почти вся торговля производится автоматически; автоматы же работают на почте, вокзалах, в банках».

В сфере образования дефицит персонала тоже компенсируется технически. Собеседник повествователя сообщает: «Преподавание в школах производится преимущественно при помощи граммофона и кинематографа».

Техничен и подход к демографическим проблемам. Для ускоренного «восполнения убыли населения у нас установлена материнская повинность. Дети воспитываются на счет государства».

Повествователь изумлен пренебрежением к личному мнению женщин. Собеседник же утверждает, что в Германии жизни граждан «неотделимы от интересов государства».

Разговор в пивной закончен, но повествователь не выяснил, зачем правительству нужно принудительное «восполнение убыли населения».

Это выяснится вскоре. Повествователю «удалось проникнуть на тайное заседание верховного совета, в руках которого теперь находятся судьбы страны».

Реванш готовит «верховный совет». Выступающий с трибуны председатель утверждает, что территории, утраченные из-за поражения, следует вернуть и устранить все препятствия «на пути к мировому господству Германии».

Конечно, для войны требуются ресурсы продовольствия. Эту проблему уже решил выступающий с трибуны немецкий ученый: «Дайте мне горсть земли, в этой горсти я выращу вам бобы в 27 часов! Германии не грозит больше никакая блокада! Правда, она будет сидеть на бобах, но наши хозяйки постараются приготовить их повкуснее».

Беляев, как говорится, обыграл фразеологизм «сидеть на бобах». Шутка. Однако повествователь узнает и о проектах нешуточных: готов к боевому применению смертоносный вирус, изобретены «омега-лучи, убивающие, взрывающие и даже сплавляющие металлы на расстоянии».

Перспектива реванша все ближе. Собравшиеся ликуют: «Отныне Германия – царица мира!»

Но вновь прибывший докладчик сообщает о катастрофе. Оказывается, немецкие военные секреты известны в Лондоне и Париже, так что если Германия применит новые виды оружия, последуют аналогичные контрудары, а тогда «вся наша страна обратится в одно сплошное кладбище».

Председательствующий заявляет, что причина неожиданного крушения планов – измена. Среди участников собрания оказался и недавно встреченный повествователем однорукий «ветеран минувшей кампании». Он, заметив бывшего собеседника, восклицает: «Русский шпион!»

Все бросаются к приезжему. Финал повествования: «Меня стали так тормошить, что... нельзя было не проснуться!»

Итак, лишь сон. Провидческий.

Дело не в автоматизации, равным образом, дистантном обучении, агрономических достижениях или новых тогда видах оружия. Не один Беляев выдумывал подобного рода новации. Главное – сама концепция будущего. Как военного, так и послевоенного.

Примечательно, что на «тайном совете» упомянуты в качестве стран-победительниц только Англия и Франция. Отчасти это объяснимо: когда рассказ готовили к публикации, Америка еще не вступила в войну. Необъяснимо же, как Беляев угадал, что победы России не будет.

Предсказана Беляевым и ситуация в области идеологии. Ко второй половине 1920-х гг. значительная часть населения Германии была вновь настроена милитаристски. Сторонников идей реванша, мирового немецкого господства, принесения любых жертв ради этого, становилось все больше.

Впрочем, постоянного корреспондент газеты «Приазовский край» интересуют не только проблемы военные. Пишет он и о странной отечественной традиции пренебрежения к работе русских ученых. Среди характеризуемых – К.Э. Циолковский. 24 января 1916 г. опубликована статья «Изобретатели».

Беляев еще не раз вернется к военной тематике. Так, 25 декабря – «Чаша гнева Господня. Рассказ А.Р. Беляева».

Комментируя эту публикацию, Бар-Селла отметил: важна и ее жанровая характеристика – «рассказ». Она свидетельствует, что в редакции газеты у Беляева уже статус писателя.

Рассказ вроде бы юмористический. По крайней мере, на первый взгляд. Рождество близится, и в квасной лавке Назарыча, известного на весь околоток толкователя Библии, собрались его знакомые. К нему многие обращались за утешением или помощью, и все предсказания исполнились. Вот и те-

перь предсказателю гости задают вопросы о будущем, он рассуждает, приводя библейские цитаты. Божий гнев обрушится на людей, длящаяся война закончится распадом великих держав, следующие братоубийственны, впереди невиданные бедствия. Гром, сотрясший помещение, тут же подтверждает истинность пророчеств. Однако сразу выясняется, что это не знамение: взорвалась бутылка с перебродившим квасом. Успокоенные слушатели расходятся по домам.

Если учитывать будущее, так с точностью до недели угаданы срок окончания войны и распад трех империй. Вот так пошутил Беляев.

Нет сведений о реакции читателей в декабре 1916 г. Бар-Селла же отметил: «Сколько было попыток объявить Беляева экстрасенсом, мистиком, контактером, на худой конец – пророком. Наглая, глупая и отвратительная ложь от незнания... И зачем лгать, когда все так просто и ясно. Кто он был? Господи! Да всего-то лишь гений».

Характеристика эмоциональна. Однако другие, приведенные выше, объясняют еще меньше.

НЕСОВЕТСКИЙ СОВЕТСКИЙ ПИСАТЕЛЬ

С ноября 1916 г. Беляев все реже печатается в ростовской газете. Обострилась болезнь. Вместе с матерью он переезжает в Ялту – к морю.

О лечении сведения противоречивы. Сам Беляев рассказывал интервьюерам, что три года был фактически парализован, лежал на кровати, буквально закованный в гипс. Но, по нескольким другим свидетельствам, трагизм ситуации преувеличен.

Ясно лишь одно: лечение оказалось долгим и тягостным. В подобных случаях был обязателен постельный режим,

позвоночник больного надлежало фиксировать корсетом, часто гипсовым, снимать его рекомендовалось только для процедур гигиенических, подвижность вообще минимизирована. Беляеву к началу 1917 г., надо полагать, не до писательства.

Как известно, 2 марта император Николай II отрекся от престола. Временное правительство формировало свою административную структуры по всему южному берегу Крыма. Создана она и в Ялте.

Но параллельно формируются и другие административные структуры. Так, в мае создан ялтинский Совет рабочих и солдатских депутатов. Есть и еще организации, претендующие на власть. В городе уже дефицит продовольствия, перебои с электричеством и водоснабжением.

Гражданская война, предсказанная Беляевым, до Ялты дошла поздней осенью. В городе административный паралич, на улицах нередки бои различных политических группировок.

Несколько иная ситуация в Ростове-на-Дону. 2 декабря большевистские войска, ранее контролировавшие город, вытеснены отрядами под командованием генерала М.В. Алексева.

Беляев этим воспользовался. 9 декабря газета «Приазовский край» поместила его статью «О хорошем тоне».

Редакция планировала в дальнейшем постоянную рубрику – «Отклики». Своего рода цикл политических обзоров.

Заглавие первой опубликованной в новой рубрике статьи отражало ироническое отношение автора к тем, кого еще недавно считали эталонными революционерами. Временное правительство, согласно Беляеву, утратило власть, потому что эсеры и меньшевики, став министрами, не решились прибегнуть к жестоким мерам для борьбы

с большевиками, а в политике губительны «хороший тон».

Это последняя статья Беляева в «Приазовском крае». 9 февраля 1918 г. из Ростова-на-Дону ушли полки сформированной там Добровольческой армии. До весны в городе большевистская администрация.

В Ялте власть менялась неоднократно. С января 1918 г. – большевистская. Массовые аресты и расстрелы тех, кого объявили «контрреволюционерами».

Но в мае советские войска ушли из города. Беляев печатался в эсеровской газете «Ялтинский голос». К большевистскому режиму отношение резко отрицательное.

Тем временем лечение продолжалось. Ходил Беляев еще с трудом, но уже мог хотя бы принимать гостей: появились новые знакомые, среди них – будущая невеста.

17 ноября 1920 г. в Ялту вошли советские войска. Опять – массовые аресты и расстрелы.

Из Ялты Беляев уехал, опасаясь ареста. Поступил на должность воспитателя в пригородном детском доме. Работал там недолго – брат невесты, ставший начальником ялтинской милиции, принял на службу будущего родственника.

Уголовным розыском как таковым Беляев не занимался. Пригодилось давнее увлечение фотографией, вот и был фотографом в милиции. Этот пункт в анкете оказался своего рода справкой о благонадежности. Что и предоставило возможность перейти на работу в городскую библиотеку.

В 1921 г. умерла мать Беляева. Он вновь лечился, оставалась и опасность ареста: Ялта невелика, а доносчиков там прибавилось.

Лишь в 1922 г. Беляев стал москвичом. Друзья предоставили ему жилье, он поступил на работу в юридический отдел Народного комиссариата почт и телеграфа. Официально принятое

сокращенное название этого учреждения – «Наркомпочтель».

С 1924 г. Беляев печатается в каждом номере ведомственного журнала наркомата. Статьи об истории почты, ответы на письма читателей. Опубликовано и две книги соответствующей тематики.

Некоторые биографы, основываясь на свидетельстве дочери Беляева, утверждали, что он был сотрудником газеты «Гудок». Соответственно, там в 1925 г. опубликован рассказ «Голова профессора Доуэля», писательский дебют «одного из основоположников советской научной фантастики», после чего и роман с тем же заглавием.

«Гудок» – некогда легендарная газета, выпускавшаяся профсоюзом железнодорожников. В 1920-х гг. сотрудниками ее, как известно, были Булгаков, Катаев, Ильф, Петров, Олеша. Значит, Беляев, вдохновившись примером коллег, написал рассказ, а затем и одноименный роман.

Сотрудником «Гудка» Беляев не был. Зато два его рассказа в 1925–1926 гг. опубликовал наркомпочтеlevский журнал. Разумеется, тематика ведомственная: работа почты и почтовых служащих.

Тот же ведомственный журнал опубликовал в 1927 г. повесть Беляева – «Радиополис». В подзаголовке указывалось, что она именно фантастическая⁵.

Сюжет выстроен так же, как в первом беляевском рассказе. Повествователь, служащий Наркомпочтеля, попадает неведомым образом в далекое будущее. Он просыпается в городе, получившем название Радиополис, местные жители приветливы, доброжелательны, вот только головы их непропорционально велики, зубы и ногти чуть ли не атрофированы, телосло-

жение мужчин почти не отличается от женского, так как все избавлены от физического труда благодаря достижениям радиотехники. Развитую мускулатуру заменяют различного рода устройства. Например, автоматизированные крылья, позволяющие владельцам летать, словно птицам. Социализм давно победил в Европе, Азии, Африке, остается лишь один противник – США. Там обезумевший миллиардер и его сообщники инициировали создание атомного оружия, а это угроза существованию всей планеты. В тайный вражеский арсенал пробирается бывший наркомпочтеlevец, он пытается воспрепятствовать злодеям и – вдруг просыпается в больничной палате, где от врача узнает, что болел, даже бредил, но теперь опасности нет.

Беляев подготовил на основе повести роман, дав ему новое заглавие – «Борьба в эфире». Он выпущен издательством «Молодая гвардия» в 1928 г., а следующее, уже посмертное издание – через пятьдесят восемь лет⁶.

Столь долгий интервал выглядит странно. В период так называемой новой экономической политики издательства ориентировались на прибыль, а книги Беляева тогда были весьма популярны. Значит, был цензурный запрет. Но причина неочевидна.

Объяснение подсказывает литературно-политический контекст. Как раз в период его резкого изменения издан беляевский роман.

В 1927 г., когда в редакции готовили к изданию роман, завершался последний этап борьбы группировки И.В. Сталина с Л.Д. Троцким и его сторонниками. Им вся массовая пресса инкримини-

⁵ Беляев А. Радиополис. Фантастическая повесть // Жизнь и техника связи. 1927. № 1–8/9.

⁶ См.: Беляев А. Борьба в эфире // Беляев А. Борьба в эфире. М.Л.: Молодая гвардия, 1928. С. 9–140; Он же. Борьба в эфире // Последний человек из Атлантиды. Л.: Лениздат, 1986. С. 102–191.



Обложка журнала «Всемирный следопыт», 3, 1925, где был впервые опубликован рассказ А.Р. Беляева «Голова профессора Доуэля» (начало)

рвала склонность к административной практике военных лет, а также стремление завершить нэп ради новой войны за «мировую революцию»⁷.

Конечно, сама идея «мировой революции» была и оставалась базовой в большевистской пропаганде. Но сталинские пропагандисты доказывали тогда, что троцкисты не готовы к работе в мирных условиях, вот и прикрывают свою некомпетентность рассуждениями о внешней политике.

Ирония по отношению к теме приближения «мировой революции» стала

⁷ Одесский М.П., Фельдман Д.М. Миры И.А. Ильфа и Е.П. Петрова. Очерки вербализованной повседневности. М.: РГГУ, 2015. С. 64–87.

допустимой летом 1927 г. Впрочем, ненадолго.

По сюжету «Борьбы в эфире противники социализма чуть ли не карикатурны, а повествователь, как в финале выясняется, просто бредил «мировой революцией». Беляев написал пародию на популярные советские авантюрно-фантастические романы и повести. Шутил. Такие шутки не были рискованными тогда.

Интенции, приписанные троцкистам, вышучивал не один Беляев. В антитроцкистской кампании участвовало не так уж мало литераторов.

Однако 1928 г. троцкисты уже разгромлены, лидер их в ссылке. Его разreshалось вышучивать, ироническое же осмысление идеи «мировой революции» стало опять неуместным.

Кроме того, Беляев комически изобразил население города социалистического будущего. Значит, осмелел одну из базовых концепций советской пропаганды: «воспитание нового человека».

Наконец, завершалась нэповская эпоха, издательские организации вскоре перешли на бюджетное финансирование, тема доходов утратила актуальность, – в отличие от цензурных запретов. Соответственно, переиздание беляевского романа тоже стало неактуальным.

К 1986 г. деактуализировались многие цензурные запреты более чем полувековой давности. Потому дочери Беляева и удалось переиздать забытый уже отцовский роман.

НЕФАСАДНАЯ ИДЕЯ

В дальнейшем Беляев пародии не писал. Ареста же опасался постоянно, вот и распространял версию, согласно которой рассказ «Голова профессора Доуэля» создан на основе личного

опыта автора, с 1916 г. в течение почти четырех лет остававшегося фактически парализованным. Тем самым подразумевалось, что никаких публикаций тогда быть не могло. Ну а литературную известность Беляеву действительно принес рассказ «Голова профессора Доуэля», впервые напечатанный в 1925 г. Только не «Гудком», а журналом «Всемирный следопыт»⁸.

Выбор периодического издания для публикации фантастического рассказа отнюдь не случаен. Он соответствовал тематике журнала.

Финансировался этот журнал акционерным обществом «Земля и фабрика». Вскоре оно уже вошло в число наиболее крупных издательских организаций страны. Руководил им В.И. Нарбут, в ту пору – высокопоставленный функционер ЦК партии⁹.

Нарбут был талантливым издателем. Журнал, созданный под его руководством, идеально соответствовал запросам молодежи. Тематика журнала обозначалась на первой стороне обложки, где указано: «Путешествия. Приключения. Фантастика».

Критики-современники настаивали, что для рассказа «Голова профессора Доуэля» и одноименного романа автором были использованы опубликованные сведения об экспериментах биологов. Но Беляев оспаривал такие выводы.

Прав был он. Бар-Селла доказал, что Беляева вдохновляли не столько упомянутые критиками достижения биологов, о которых он к 1925 г. еще не мог

знать, сколько другая идея. Она выявлена исследователем при анализе публикационной истории знаменитого романа.

Так, вполне очевиден парадокс. Впервые роман «Голова профессора Доуэля» печатался в 1937 г., значит, после издания одноименного рассказа минуло более одиннадцати лет. Получается, что Беляев не стал развивать успех, а медлил, игнорируя обстоятельства финансового характера.

Странности на самом деле нет, если учесть, что Бар-Селла выявил исходную рукопись беляевского романа, основой которого стал рассказ «Голова профессора Доуэля». В трехлетний срок она подготовлена автором к изданию, но под другим заглавием: «Воскрешение из мертвых».

Новое заглавие соотнесено с идеей, захватившей Беляева. О ней – в предисловии автора к рассказу «Голова профессора Доуэля»: «Вернуть к жизни голову умершего человека, вернуть после смерти сознание – вот это было бы уже подлинное воскрешение из мертвых, что в век религиозных суеверий считалось прерогативой (исключительным правом) “божества”».

Насчет «религиозного суеверия» – обязательный реверанс в сторону атеистической пропаганды. Если же абстрагироваться от него, очевидна соотнесенность с учением Н.Ф. Федорова, чьи основные труды посмертно издавались в 1906–1913 гг. под заглавием «Философия общего дела».

Согласно Федорову, христианский сыновний долг – возвращение жизни отцам. Именно «воскрешение из мертвых». Что станет возможным благодаря изучению сил природы и сохранению памяти об умерших ради главного дела – избавления от смерти. Ограниченность же земного пространства надлежит преодолеть, осваивая управление космическими ресурсами.

⁸ Беляев А. Голова профессора Доуэля // Всемирный следопыт. 1925 № 3–4.

⁹ См.: Киянская О.И., Фельдман Д.М. Советская карьера акмеиста: материалы к биографии Владимира Нарбута // Киянская О.И., Фельдман Д.М. Очерки истории русской советской литературы и журналистики 1920–1930-х годов. Портреты и скандалы. М.: Форум, 2015. С. 57–104.

В СССР тогда интерпретации самой идеи «воскрешения из мертвых» специфичны. Религиозная компонента, конечно же, игнорировалась, ее заменяли суждения относительно перспектив медицины. Пример из характерных – опубликованная в 1923 г. журналом «Леф» поэма В.В. Маяковского «Про это», где речь, кроме прочего, о будущей «мастерской человеческих воскрешений»¹⁰.

Единичны были положительные отзывы. Зато наиболее азартные критики, причем и недавние союзники в борьбе за место на литературном рынке, и давние оппоненты, инкриминировали Маяковскому отказ от так называемой производственной тематики – наряду с крайним индивидуализмом¹¹.

Труды Федорова критиками не упоминались. Это позже его назовут «родоначальником русского космизма».

Доуэль в рассказе решает задачу «воскрешения из мертвых». Идея эксплицирована в заглавии: пока мозг погибшего жив, голову можно приживить к телу, принадлежавшему тому, кого нельзя было спасти. Если в современной терминологии – биолог преодолел тканевый барьер¹².

Ученик профессора, убив его, оживляет голову убитого, чтобы получать консультации для продолжения эксперимента. Цель – деньги и слава. Убийца разоблачен, Доуэль погибает.

Беляев, подготовив к изданию рассказ, сразу взялся за роман. Однако

в 1928 г. публикация не состоялась: явной была соотнесенность с федоровскими идеями. Пришлось выбрать новое заглавие, несколько изменить сюжет, изъять ряд суждений героев.

Наиболее злую рецензию на роман «Голова профессора Доуэля» написал Я.С. Рыкачев. Ее опубликовал журнал «Детская литература» в январском номере за 1939 г.¹³

Роман объявлен избыточно фантастичным. Писателю было рекомендовано заняться изображением «борьбы с классовым врагом».

Азартно-сервильный критик получил довольно резкий и аргументированный ответ. Статья Беляева «О моих работах» опубликована тем же журналом в майском номере за 1939 г.¹⁴

По словам Беляева, роман написан вскоре после рассказа. Далее подчеркнуто: «И наиболее печальным в анахронизме я нахожу не то, что книга в виде романа издана теперь, а то, что она только теперь издана. В свое время она сыграла бы, конечно, большую роль: ее недостатки и достоинства сослужили бы большую службу. Но не бесцельно ее появление и в настоящее время, судя по тому интересу, который возбудила книга, в особенности в среде молодых медицинских научных работников».

Беляев, полемизируя с Рыкачевым, ссылаясь не только на письма читателей. Важный аргумент – мнения известных ученых, которые «указывали, что что издание романа имеет большое значение для привлечения внимания к очень важной области науки, кстати сказать, имеющей близкое отношение к полевой хирургии, а следова-

¹⁰ См.: *Маяковский В. Про это* // Леф. 1923. № 1. С. 100–101.

¹¹ *Чужак Н. К задачам дня* // Леф. 1923. № 2. С. 150–152; *Лелевич Г. Литературные итоги* // На литературном посту (статьи и заметки). М.: «Октябрь», 1923. С. 37–44.

¹² *Одесский М.П. Наука как культурный институт и большевики. Рец. на кн.: Krementsov N. Revolutionary experiments: The Quest for Immortality in Bolshevik Science and Fiction. N.Y.: Oxford University Press, 2014. XVI, 268 p.* // НЛО. 2015. № 6. С. 329–334.

¹³ Здесь и далее цит. по: *Рыкачев Я.А. Беляев. Голова профессора Доуэля. Л.; М.: Советский писатель, 1938. 141 стр. Ц. 4 руб. Тир. 10000* // Детская литература. 1939. № 1. С. 50–53.

¹⁴ Здесь и далее цит. по: *Беляев А. О моих работах* // Детская литература. 1939. № 5. С. 23–25.

тельно, и к обороне. В Ленинградском медицинском институте научные проблемы романа разбирались на лекции студентами совместно с профессором. Привлечь внимание к большой проблеме – это важнее, чем сообщить ворох готовых научных сведений. Толкнуть же на самостоятельную научную работу – это лучшее и большее, что может сделать научно-фантастическое произведение».

Рыкачевские претензии, согласно Беляеву, обусловлены невежеством. Тема, рекомендованная критиком, постольку не должна стать единственной, поскольку «самое трудное для писателя создать занимательный сюжет в произведении, описывающем будущее бесклассовое коммунистическое общество, предугадать конфликты положительных героев между собой, угадать хотя бы две-три черточки в характере человека будущего. А ведь показ этого будущего общества, научных, технических, культурных, бытовых, хозяйственных перспектив не менее важен, чем показ классовой борьбы. Я беру на себя труднейшее».

Наставления Рыкачева подразумевали инвективы политические: уклонение от указанных партией обязанностей писателя. Беляев ответил в духе времени, пояснив, что партийным установкам следует.

Он и не мог вовсе уклониться от темы «классовой борьбы». С ней, к примеру, соотнесена первая – сокращенная – редакция романа «Властелин мира». Она была опубликована газетой «Гудок» в 1926 г.¹⁵

Речь в романе именно о власти над миром, которую должна предоставить технология, созданная немецким физиологом Штирнером. Он конструирует аппарат, передающий мысленные

приказы, наподобие радиоволн. Конструкция совершенствуется, изобретатель уже контролирует тех, с кем непосредственно общается, по сути, управляет ими. Разумеется, не обходится без преступлений, благодаря которым ученый-авантюрист неслыханно богатеет, его, наконец, полюбила женщина, ранее отвергавшая малосимпатичного ухажера, он диктует приказы различным правительствам, в общем, идея мирового господства близка к реализации.

Меж тем уже близится мировая война. Штирнер, одумавшись, предотвращает ее с помощью коллеги из СССР – Качинского. В итоге созданы условия для распространения социализма по всей планете.

Полная редакция этого романа вышла три года спустя. Книгу опубликовало ленинградское издательство «Красная газета»¹⁶.

Вторая редакция несколько менее политизирована. Зато более философична. Штирнер, почти реализовавший идею мирового господства, осознает, что его могущество на самом деле мнимое. Нет любви, дружбы, уважения, все это продуцирует технология. Поэтому рефлексолог буквально обнуляет результаты своей работы, причем его последний приказ – стереть и собственную память о прошлом. В этом ему помогает Качинский. Финал – почти оптимистический. «Властелин мира», отрекшийся от власти, забывший о себе былом, живет в Москве, он теперь сотрудник зоопарка, а сам аппарат, передающий мысли, усовершенствованный советскими учеными, используется для решения исключительно мирных задач.

С идеей классовой борьбы соотнесен и роман «Продавец воздуха». Он

¹⁵ Беляев А. Властелин мира // Гудок. 1926. 19 ок. – 6 нояб.; 10–18 нояб.

¹⁶ Беляев А. Властелин мира. Л.: Красная газета, 1929.

был впервые опубликован журналом «Вокруг света» в 1929 г.¹⁷

Выбор этого периодического издания тоже неслучаен. Нарбут в 1927 г. использовал популярный досоветский бренд: на десять лет раньше выпуск иллюстрированного еженедельника «Вокруг света» был прекращен, затем журнал, можно сказать, возродился, а финансировался он тогда акционерным обществом «ЗиФ». Соответственно, тематика аналогичная той, что заявлена редакцией «Всемирного следопыта»: «Путешествия. Приключения. Фантастика».

Речь в беляевском романе идет именно о продаже того, что, казалось бы, общедоступно. Английский предприниматель использует достижение шведского химика, сумевшего решить задачу сгущения воздуха до твердого состояния. Налажена связь с Марсом, откуда добывается сырье для ядерного топлива, обеспечивающего энергией фабрики и хранилища новых ресурсов в кратере сибирского вулкана. Дышать на Земле становится все труднее, владелец склада торгует незаконно обретенным товаром, а иностранные правительства избегают конфликта с мошеником. Его разоблачает советский метеоролог, и в борьбу вступают отряды Красной армии. Новоявленный монополист гибнет, но умирает и ученый, совершивший открытие, использованное злодеем.

К советским идеологическим установкам адаптировано и осмысление идеи анабиоза в беляевском рассказе «Ни жизнь, ни смерть». Впервые он был опубликован журналом «Всемирный следопыт» в 1926 г.¹⁸

¹⁷ Беляев А. Продавец воздуха // Вокруг света. 1929. № 4–13.

¹⁸ Беляев А. Ни жизнь, ни смерть // Всемирный следопыт. 1926. № 5–6.

Наличие «классовой борьбы» тут несомненно: в капиталистических странах экономический кризис, массовая безработица, вот и решение нашли капиталисты – замораживать голодающих безработных, так сказать, до востребования, а семьям платить минимальную компенсацию, это лучше, чем ничего. Первый опыт воскрешения после замораживания дает ошеломительные результаты. Оказывается, туберкулез одного из подопытных излечен. Новые перспективы открылись не только для лишившихся работы. Уже создано гренландское хранилище погруженных в анабиоз. Затем оно взорвано: испугались владельцы начавшейся революции.

Минуло более семидесяти лет, и вот случайно обнаружены несколько уцелевших замороженных. Их пробуждают, и они с изумлением видят преобразенный мир. Пресловутое лучшее будущее, социалистическое.

Но в этом технологизированном мире воскрешенные – чужие. Потому и принято ими решение: вновь и вновь погружаться в анабиоз, чтобы, пробуждаясь, каждый раз наблюдать новое будущее, которое, возможно, когда-либо не окажется чуждым. Финал не вполне оптимистический.

СОПРЯЖЕНИЕ ИДЕЙ

Еще при жизни Беляева советские критики, а заодно и представители официальных инстанций определили статус его публикаций: детская литература. Ну а куда их еще, коль скоро автор фантаст – и только. Мнение же миллионов читателей в расчет не принималось.

Булгакова при жизни тоже характеризовали порою как фантаста. Но по ведомству детской литературы он не проходил никогда. Сатирик.

Юриспруденцию Беляев оставил, чтобы стать писателем. Аналогичный выбор сделан дипломированным врачом Булгаковым. Общим было что скрывать: они советский режим не приняли, смирились как с данностью, принятой большинством соотечественников. Однако дело не только в биографии. Гораздо важнее общность и тематики, и проблематики.

В 1925 г. московский альманах «Недра» опубликовал повесть «Роковые яйца». Тогда же она издана в составе булгаковского сборника¹⁹.

Политическая направленность повести была очевидна современникам. Взявшийся за решение проблемы обеспечения страны куриным мясом и яйцами большевик Рокк – окарикатуренный Троцкий. Новоявленный хозяйственник тоже делал военно-административную карьеру с 1917 г., есть черты сходства с многочисленными портретами, некогда украшавшими начальственные кабинеты на предприятиях и в учреждениях. Ну а результаты деятельности энтузиаста администрирования едва не завершаются глобальной катастрофой.

Традиционно повесть «Роковые яйца» считается антисоветской. Критики, инкриминировавшие автору осмеивание советского режима, не ошибались: булгаковская сатира была можно сказать, обоюдоострой. Потому в 1928 г. повесть издана за границей²⁰.

Но редакция альманах «Недра» и одноименного издательства, публикуя булгаковскую повесть, дискредитировали Троцкого, руководствуясь актуальными пропагандистскими установка-

ми. Они вскоре утратили актуальность, и характерно, что в СССР переизданий не было до 1987 г.

Беляев, как выше отмечено, не окарикатуривал большевистских функционеров. Однако стоит подчеркнуть: его роман о наркомпочтелевце, бредившем «мировой революцией», переиздан не намного раньше булгаковской повести – в 1986 году.

На уровне тематики «Борьба в эфире» и «Роковые яйца» не связаны. Прослеживается сходство лишь в проблематике и публикационной истории.

Зато с булгаковской повестью тематически связан другой беляевский роман – «Вечный хлеб». Впервые он был опубликован в 1928 г.²¹

Если отвлечься от политической направленности булгаковской повести, можно отметить: герой беляевского романа тоже занят решением задачи продовольственного снабжения. Немецкий профессор Бройер собирает-ся навсегда избавить человечество от голода.

Талантливый биохимик вывел живую культуру самовоспроизводящегося вещества. Это тестообразная масса, причем довольно вкусная. Ее питательная среда – воздух. Достаточно крупницы «вечного хлеба», и он будет расти, как тесто на дрожжах.

В бедной рыбацкой деревне экспериментирует профессор. Ему нужно еще завершить опыты, и одному из рыбаков он передает на пробу горшок самовоспроизводящегося вещества – при условии сохранения тайны. Однако сохранить ее не удастся: получивший «вечный хлеб» начинает им торговать, богатеет, затем алчные предприниматели создают уже целую индустрию.

¹⁹ См.: Булгаков М. Роковые яйца // Недра. 1925. № 6. С. 79–148; Он же. Роковые яйца // Булгаков М. Дьяволиада. М.: Недра, 1925. С. 44–124.

²⁰ Булгаков М. Роковые яйца. Рига: Книгоиздательство «Литература», 1928.

²¹ Беляев А. Вечный хлеб // Беляев А. Борьба в эфире. М.; Л.: Молодая гвардия, 1928. С. 140–226.

Бройеру не удастся осчастливить человечество. Тестообразная масса растет, покрывает большие территории, даже поверхность моря. Профессор арестован и объявлен виновником катастрофы. В тюрьме ему разрешают проводить эксперименты по уничтожению «вечного хлеба». Биохимический способ найден, глобальная катастрофа предотвращена.

В булгаковском романе и беляевской повести речь идет о радикализме и безответственности. Неважно, воспользуется ли научным открытием фанатичный революционер или алчный предприниматель. Итог один.

НЕЗЕРКАЛЬНЫЕ ОТРАЖЕНИЯ

Со второй половина 1920-гг. Беляев как литератор оказался удачливее Булгакова. При этом обоим были интересны обсуждавшиеся тогда медицинские и социальные проблемы, но их осмысление у каждого свое.

Как выше отмечено, в 1927 г. Беляев опубликовал повесть «Радиополис», и внимание критиков она не привлекла: у ведомственного журнала Наркомпочтеля круг читателей был узок. Зато на ее основе написанный роман «Борьба в эфире» цензура заметила и переиздания запретила. Через десять лет автору инкриминирована попытка осмеять концепцию «воспитания нового человека».

Не позже Беляева ее интерпретировал Булгаков. Тираж перового издания повести «Роковые яйца» только появился на прилавках, когда автор передал редакции новую: «Собачье сердце». Но впервые она была опубликована более сорока лет спустя за границей, а в СССР – летом 1987 г.²²

²² См.: Булгаков М. Собачье сердце. Париж: IMCA-PRESS, 1967. Он же. Собачье сердце // Знамя. 1987. № 6. С. 73–141.

Традиционно эта повесть тоже считалась антисоветской. Но редакция альманаха «Недра» планировала издание, оно бы и состоялась, если бы не вмешались цензурные инстанции.

Как автор, так и редакция ориентировались на актуальный тогда политический контекст. Оппознаваемая современниками карикатура на Троцкого – хозяйственник Швондер, энтузиаст радикальных административных решений. Внешнее сходство тоже очевидно.

С этапами антитроцкистской кампании соотнесены и хронологические рамки повествования. Так, в декабре 1924 г. Преображенский трансплантирует человеческие органы внутренней секреции бродячему псу Шарик. Ну а в советской периодике тогда продолжается ожесточенная полемика с Троцким и его сторонниками. Через два месяца она завершается отставкой некогда легендарного наркомвоенмора, а в повести собака, воспитанная Швондером в презрении к интеллектуалам, терроризировавшая обитателей квартиры хирурга, обретает после новой операции прежнюю внешность и соответствующие привычки, вот и ярый администратор вновь посрамлен.

Пафос был понятен современникам. Прошло время Троцкого и его сторонников, не их задача кого-либо воспитывать. Однако Булгаков несколько запоздал. Его новая повесть тогда в цензуру поступила, когда самый ожесточенный этап полемики с Троцким завершился. Карикатура утратила прежнюю актуальность, обоюдоострой же осталась: высмеяна концепция воспитания «нового человека».

Беляев тоже интерпретировал проблему трансплантации. Едва ли не самый популярный его роман – «Человек-амфибия». Впервые он был опубликован журналом «Вокруг света» в 1928 г.²³

²³ Беляев А. Человек-амфибия // Вокруг света. 1928. № 1–13.

Как известно, сам термин «амфибия» обозначает существо, обладающее способностями вести и земной, и подводный образ жизни. Заглавие романа – своего рода абрис сюжета: южно-американский хирург Сальватор, чтобы спасти умирающего чужого ребенка, пересадил в его легкие жабры акулы. Спасенный получил возможность жить под водой. Для врача он станет приемным сыном, ему и новое имя дано: Ихтиандр – человек-рыба.

Казалось бы, этот вариант трансплантации открывает колоссальные перспективы расширения человеческих возможностей. Мировой океан – хранилище неисчерпаемых ресурсов, и доступ к ним может стать практически неограниченным. Однако новообретенная способность жить под водой обусловила и ограничения. Нельзя Ихтиандру постоянно находиться в одной стихии: баланс легких и жабр нарушится.

Так и произойдет. Выяснится, что над человеческой природой не беспредельна власть даже гения медицины. Расширение одних возможностей с необходимостью влечет утрату других, а это трагично.

Если пользоваться современной терминологией, в булгаковской повести рассмотрены, кроме прочего, эндокринологические проблемы. Аналогично – в беляевском романе «Человек, потерявший лицо». Он впервые опубликован журналом «Вокруг света» в 1929 г.²⁴

В беляевском романе эндокринологические проблемы решаются не хирургом, а терапевтом. Действие перенесено в США, хронологические рамки не обозначены. Главный герой – киноартист Престо, из-за врожденной болезни ставший буквально карликом. Уродливый, но обаятельный и талант-

ливый, он делает карьеру, специализируясь на комических ролях, и его состояние измеряется миллионами долларов.

Престо угнетен своим уродством, слава и богатство не утешают. Вдруг – удача: известие о том, что некий доктор Сорокин умеет нужным образом воздействовать на гипофиз. Лечение успешно, и уродливый карлик становится рослым красавцем.

Но излеченный актер-миллионер не может воспользоваться своими миллионами: его попросту не узнают, украсть деньги из собственного дома Престо не удастся, он арестован. Тюрьма, судебный процесс, денег уже не так много, как прежде, а перспектив нет вовсе.

Фамилия актера исчезает с газетных страниц, вскоре о нем забывают. Актуальны другие новости: банда налетчиков проникает в дома местной элиты – губернатора, кинопродюсера, знаменитой актрисы и ее мужа, причем всех их вынуждают принять некие препараты. Внешность подвергшихся налетам богачей меняется. Один чудовищно жиреет, другой становится карликом, третий – чернокожим, что для американского сановника опасно, в общем, у всех беда, и они срочно отправляются к Сорокину. Лечение успешно, однако получившему гонорары исцелителю предписано уехать из страны. На палубе океанского лайнера он встречает Престо и тот рассказывает, что похитил из лаборатории доктора некоторые лекарства – для мести своим обидчикам.

Десять лет спустя Беляев подготовил новую редакцию популярного романа, дав ему другое заглавие: «Человек, нашедший свое лицо». Книга была опубликована в 1940 г.²⁵

Сюжет изменен. Актер, вернувший свою внешность, не тратит время

²⁴ Беляев А. Человек, потерявший лицо // Вокруг света. 1929. № 19–25.

²⁵ Беляев А. Человек, нашедший свое лицо. Л.: Советский писатель, 1940.

на месть обидчикам, а решает стать продюсером и режиссером фильма, снятого по его же сценарию. Не приключенческого или комедийного, но о жизни простых американцев, и главную роль должна сыграть девушка, в которую Престо влюблен.

Впереди у них много препятствий: козни магнатов киноиндустрии, финансовые трудности, клевета журналистов. Успех фильма сенсационный, правда, триумф омрачен: любимая девушка расстается с триумфатором.

Роман в новой редакции стилистически, можно сказать, выглажен, однако авантюрную компоненту потеснила социальная. Книга получилась более советской. Вряд ли сам автор к стремился к этому изначально.

ОБЛАСТЬ ИДЕАЛЬНОГО

Не только Рыкачев инкриминировал Беляеву игнорирование советской реальности. Вот только в чем это выражается – ни один критик не объяснил.

Да, есть у Беляева сюжеты, построенные на иностранном материале. Еще и поэтому они были интересны переводчикам и читателям за границей.

Однако не так уж мало сюжетов, построенных на советском материале. Соответствующие публикации неизменно вызывали читательских интерес, на что и сослался Беляев, отвечая Рыкачеву.

Беляев тогда упомянул, кроме прочего роман «Подводные земледельцы». Он впервые опубликован журналом «Вокруг света» в 1930 г.²⁶

Политическая ситуация в стране тогда менялась быстро. Изменения соответствовали выдвинутой Сталиным концепции: успехи в построении со-

циализма обязательно способствуют «обострению классовой борьбы»²⁷.

Шла волна фальсифицированных судебных процессов над инженерами и техниками, которым инкриминировались подготовка и проведение диверсий в промышленности ради создания условий для интервенции. Появился и соответствующий термин: «вредительство».

Завершалась так называемая коллективизация, т. е. насильственное объединение сельского населения в коллективные хозяйства, колхозы. Побочный эффект – дефицит продовольствия, что сталинские пропагандисты объясняли посредством ссылок на «вредительство» уже в сельском хозяйстве.

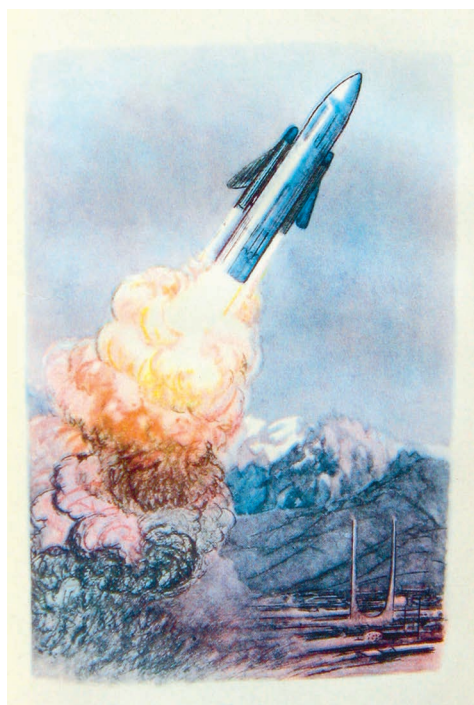
Все это, казалось бы, отражено Беляевским романом. Сюжет злободневный – освоение дальневосточных территорий. Заглавием обозначена научно-техническая специфика: группа энтузиастов решает организовать новый совхоз для создания плантаций съедобных водорослей, наладить промышленную обработку сырья, обеспечить внутренний рынок продовольствия, а в перспективе и экспорт.

Энтузиастам срочно требуются технические новации. Гениальным инженером создан микроаккумулятор, обладающий небывалой емкостью, и благодаря такому изобретению появляется оснащенный аппаратом выработки кислорода снаряжение для глубоководных работ, а затем на океанском дне строится комфортабельное жилище.

Разумеется, без «классовой борьбы» не обошлось. Правда, у Беляева речь идет о врагах не внутренних, а внешних. Совхозу противостоит японский предприниматель, вот и возникает тема «вредительства»: для уничтожения совхозных плантаций конкурент

²⁶ Беляев А. Подводные земледельцы // Вокруг света. 1930. № 9–22–23.

²⁷ См.: Сталин И.В. Об индустриализации и хлебной проблеме: Речь на пленуме ЦК ВКП (б) 9 июля 1928 г. // Сталин И.В. Соч. М.: Госполитиздат, 1949. Т. 11. С. 157–187.



Иллюстрации к роману «Прыжок в ничто». В: А. Беляев. Собрание сочинений в восьми томах. Том 5. М.: Молодая гвардия, 1964. 400 с. Художник П. Луганский

использует даже подводную лодку. Постепенно конфликт обостряется, неизбежна открытая фаза. Но в экипаже японской субмарины есть коммунисты, и побеждают совхозники.

Вроде бы все политически выверено. Только быт «подводных земледельцев» не вполне советский. К примеру, сказано, что один из героев комсомолец, но более никаких упоминаний о комсомольской организации нет, партийная и профсоюзная тоже не упомянуты. Совхоз при этом идеален: каждый сотрудник по своему усмотрению выбирает область деятельности, работает, что называется, отечеству на пользу и себе в удовольствие. Политизация вроде бы подразумевается, однако налицо деполитизация. К обычной конкуренции сводимы и «классовая борьба», и «вредительство».

Такой диссонанс тот же Рыкачев не мог не заметить. Но внятные суждения о деполитизации стали бы постольку опасными для самого критика, поскольку беляевский роман проверен цензурой, опубликован в столичном журнале, значит, наряду с писателем обвинять следовало бы и цензора, и главного редактора, а тут была прогнозируемой контратака.

Беляеву иностранный материал был удобнее. Там и «классовая борьба» подразумевалась. С этой точки зрения характерен роман «Прыжок в ничто». Впервые он был опубликован издательством «Молодая гвардия» в 1933 г.²⁸

Роман снабжен пространным эпиграфом. Кроме прочего там постулиро-

²⁸ Здесь и далее цит. по: Беляев А. Прыжок в ничто. М.; Л.: Молодая гвардия, 1933.

вано: «Капиталистическая система рушится. Признаки этого видны повсюду. И нет выхода. Разве... построить ковчег, подобно библейскому Нюю, в котором мы могли бы укрыться от угрожающего нам разрушения...»

Согласно подписи под эпитафией, цитируются суждения Уэллса. Причем к моменту издания романа недавние: из речи, произнесенной «в Лондонской Скул оф Экономикс. Май 1932 года».

Основа романного сюжета – идея ковчега, эксплицированная в эпитафии. Действие перенесено в будущее. Отнюдь не стабильна политическая ситуация за пределами СССР, надвигается своего рода потоп: революции, войны. Потому группа богачей решает переждать катастрофы в космосе. Создано акционерное общество, строятся звездолеты. Первый уже далеко от Земли, но тут выясняется, что срочно нужна посадка – хотя бы на Венеру.

Там пассажиры и персонал разделились на два лагеря. Богачи стремятся поработить всех остальных, но те не подчиняются. Конфликт становится открытым, и тут инженерам удается наладить радиокontakt с Землей, где, согласно теории относительности, прошел уже не один год, так что новости ошеломительные: «Коммунизм победил во всем мире. СССР превратился в МСССР – Мировой Союз Советских Социалистических Республик».

Книга снабжена послесловием Н.А. Рынина. Он тогда был известным физиком, профессором Ленинградского института путей сообщения, печатал работы о полетах в стратосферу и ракетной технике.

Рынин подводил итоги спорам критиков о фантастической литературе. Вывод формулировался без экивоков: «Роман А. Беляева “Прыжок в ничто” является как бы завершением работам романистов о космических полетах».

Далее – аргументация. Отмечено, что писатель изучил публикации по истории вопроса, и, «обладая широким кругозором в различных областях науки и техники, предлагает читателю в популярном и занимательном изложении идею возможного полета человека в межпланетном пространстве при помощи ракетного двигателя. Он главным образом основывается на исследованиях К.Э. Циолковского, но кроме того использует и новейшие данные, приводимые и другими учеными, например, теорию относительности, условия равновесия в мировом пространстве и т. п.».

Рынин привел и многочисленные примеры, демонстрировавшие необычную для писателей осведомленность Беляева в области техники. Свидетельства достаточно убедительные.

Но, судя по роману, Беляева интересовали не политические конфликты. Рассуждения о победе революции на всей планете и «МСССР» – дань цензуре.

Вскоре после издания этой книги началась переписка Беляева с Циолковским. Ему, как известно, посвящен роман «Звезда КЭЦ», продолжающий тему космических исследований. Впервые он был опубликован журналом «Вокруг света» в 1936 г.²⁹

На этот раз герои романа – советские граждане. Молодой ленинградский биолог влюблен в соседку, она инженер. Внезапно ей передано сообщение, где упомянуто слово «Памир». Оба решают отправиться туда и попадают в некую высокогорную памирскую лабораторию, откуда стартуют и куда возвращаются космические корабли.

Из лаборатории герои отправляются в космос – на искусственный спутник Земли, названный в честь Циолков-

²⁹ Беляев А. Звезда КЭЦ // Вокруг света. 1936. № 2–11.



173

Иллюстрации к роману «Звезда КЭЦ». В: А. Беляев. Избранные научно-фантастические произведения. В трех томах. Том 2. М.: Молодая гвардия, 1957. 536 с. Художник С. Бродский

ского: КЭЦ. После многих космических приключений – свадьба.

Количество советских реалий опять минимизировано. Что, впрочем, мотивируется сюжетом: все сотрудники межпланетной станции увлечены решением конкретных задач, научных или технических, при этом главное дело у них общее, соответственно, конфликты возможны только из-за психической болезни, вызванной длительным пребыванием в космосе.

Продолжает тематику космических исследований роман «Небесный гость». Впервые он печатался газетой «Ленинские искры» в 1937–1938 г.³⁰

Действие опять перенесено в будущее. Главный герой, советский астроном, устанавливает, что к Земле стремительно приближается некая звезда. Согласно расчетам, на одну из ее пла-

нет будет притянута часть океана и земной атмосферы. Так рождается дерзкий план: погружение на глубоководном полностью автономном корабле в ту область, что окажется на космическом объекте. Правда, возвращение практически исключено, так ведь и возможность побывать в космосе тоже.

Герои романа все-таки реализуют план и ведут научные исследования, словно забыв об угрозе гибели. Им сопутствует удача: прибывает звездолет для спасения экспедиции, а на Земле путешественники – триумфаторы.

Советских реалий крайне мало в романе. Причем упоминаются они мимоходом, вне связи с темой повествования. В этом аспекте характерен и роман «Лаборатория Дубльвэ». Он впервые опубликован журналом «Вокруг света» в 1938 г.³¹

³⁰ Беляев А. Небесный гость // Ленинские искры. 1937. 17–27 дек.; 1938. 1–21 ян.

³¹ Беляев А. Лаборатория Дубльвэ // Вокруг света. 1938. № 7–9, 11–12.

Действие опять перенесено в советское. Там электрические автомобили, воздушные поезда и прочие чудеса техники. Главная героиня, аспирантка Нина, стажировалась в Ленинградском институте экспериментальной медицины, где научные лидеры – два профессора, друзья-соперники. Один решает проблемы гигиены в промышленности, его стараниями предприятия, считавшиеся вредными, стали безопасными. Другой намерен избавить человечество от старости и уже добился немалых успехов.

Задача избавления от старости оказалась самой актуальной на государственном уровне: вскоре может умереть гениальный физик, так что продлением его жизни, возвращением былой силы мысли озабочено правительство. Профессор близок уже к решению, он нашел способ электростимуляции мозга, опыты ставит на себе, помогает ему Нина.

Эксперименты едва не заканчиваются гибелью экспериментатора. Спасают его аспирантка-стажер и друг-соперник. Физику же возвращают молодость результаты опытов других сотрудников института.

Советских реалий почти нет и в этом романе. Что, хотя бы отчасти, мотивировано: все-таки речь идет о будущем.

В стране меж тем ведутся пропагандистские кампании, по-прежнему иницирующие поиск шпионов и «вредителей». Масштабы арестов – неслыханные ранее. Продолжаются так называемые московские процессы: недавних функционеров, охотно признающих свою вину, судят, в газетах печатаются судебные отчеты и сообщения об успехах следователей, разоблачивших очередных изменников. Постоянно нагнетается истерия ненависти и страха предательства – на всех социальных уровнях.

Однако нет в беляевских романах даже тени истерии, охватившей страну. Приключения героев не связаны никак с реальностью СССР. Фантастика.

ВОЗМОЖНОСТЬ ПОЛЕТА

Разумеется, не так уж мало отечественных писателей избегали осмысления политических реалий. Печатали исторические повести, романы и рассказы, уходили в область научно-популярной литературы. Наконец, выбор иностранного материала тоже позволял хотя бы отчасти абстрагироваться от советской тематики, что и отмечали вездливые критики.

Последний беляевский роман – «Ариэль». Впервые он был опубликован ленинградским отделением издательства «Советский писатель» в 1941 г.³²

Сюжет, конечно, авантурный. В его основе – приключения сына английского богача-аристократа.

После смерти отца героя опекуны объявляют ребенка душевнобольным и помещают в индийскую тайную школу-тюрьму, где преподаватели жестоко подавляют волю детей, воспитывая проповедников, умеющих посредством мнимых чудес выманивать пожертвования. Согласно опекунскому замыслу, похищенный заболеет психически, и в день совершеннолетия его признают недееспособным. Тогда опека станет пожизненной.

Ребенку в школе-тюрьме дано имя Ариэль. Он взрослеет, мечтает найти семью, а тем временем англичанин-биофизик готовит для мнимых чудес научную основу – препарат, обеспечивающий возможность летать посредством волевого усилия.

Экспериментатор вскоре погибает, а подопытный – Ариэль – улетает из школы-тюрьмы и находит приют в деревенском жилище индуса-парии. В его внуку, четырнадцатилетнюю Лолиту, сын аристократа влюбляется. Брак еще невозможен: крестьяне, видевшие полет гостя, поклоняются ему как бо-

³² Беляев А. Ариэль. Л.: Советский писатель, 1941.



Иллюстрация к роману «Звезда КЭЦ».
В: А. Беляев. Собрание сочинений в восьми
томах. Том 6. М.: Молодая гвардия, 1964.
464 с. Художник Ст. Забалуев

жеству, а европейцы стараются использовать для извлечения выгоды. Однако жить чужим невежеством или стать орудием корыстолюбцев он не желает, и, получив от невесты обещание дожидаться, отправляется в Америку.

Там его дар полета вновь пытаются использовать мошенники, спасает от них переезд в Англию, где Ариэль обретает богатство и чванливых родственников-аристократов. Все это чуждо ему, и он вновь отправляется в Индию – к Лолите.

Пожалуй, экзистенциальную проблематику беляевской прозы эмблематизирует именно роман «Ариэль». Не так, чтоб нова сама идея волевого усилия, позволяющего летать, зато она проецируется на биографию писателя: отстаивание собственного этического

выбора, своего литературного пути, неподчинение соблазнам корыстолюбия и честолубия.

Соблазнов хватало. Многие беляевские коллеги в 1930-е гг. увлеклись описанием колхозов и заводов, сверхдальних перелетов и арктических путешествий, шахтерских и строительных рекордов, а также успехов советской пенитенциарной системы. Тут и щедрые гонорары, и покровительство власть имущих, соответственно, карьера литературного функционера, особые привилегии, даже возможность распределять их.

Ну а Беляев оставался верен своему выбору фантастики в качестве сферы писательской реализации. Закономерен его интерес к освоению космоса. Это пространство непригодно для жизни, но его обживают энтузиасты, которым изучение вселенной интересно само по себе – вне применения результатов. Что до проблем использования открытий, то ими занимаются администраторы. Исследователи же переходят к решению новых задач. Таковы смысл и счастье научной деятельности.

Характеристики советских фантастов 1920–1930-х гг. обычно соотносятся с количеством предвиденных достижений науки и техники. Однако новации устаревают, а книги Беляева, согласно многочисленным отзывам читателей, даже в XXI веке остаются увлекательными, развивающими воображение, пробуждающими жажду творчества.

Беляеву не часто удавалось игнорировать пропагандистские установки. Тем не менее он создал мир, где научный поиск – самодостаточная ценность.

Осознание этой ценности еще не стало нормой и ныне. Вот почему Беляев по-прежнему – современник будущего.

*Иллюстрации к статье взяты
с сайта «Лаборатория Фантастики»
<https://fantlab.ru/> и русскоязычной
«Википедии»*

СОВЕТСКИЙ ФАНТАСТ АЛЕКСАНДР БЕЛЯЕВ

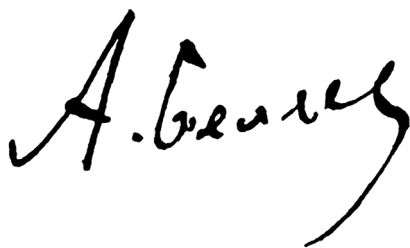
ЗАКУТНЯЯ Ольга Валерьевна,

кандидат филологических наук

Институт космических исследований РАН

DOI: 10.7868/S00044394824010092

Формальным поводом для того, чтобы написать об Александре Романовиче Беляеве, служит тот факт, что в конце 2023 г. журналу «Земля и Вселенная» была присуждена ежегодная премия имени Александра Беляева¹. Ее вручают в Пушкинском доме культуры, в том городе, где Александр Беляев жил несколько лет и где закончил свой земной путь страшной военной зимой 1941–1942 гг.



Подпись Александра Беляева. Источник: Wikipedia

Второй формальный повод – в этом году 16 марта А.Р. Беляеву исполнилось бы 140 лет, конечно, если бы люди жили так долго, как предсказывают фантасты. Будущий писатель родился 16 (4 по старому стилю) марта 1884 г. в Смоленске в семье священника. Если писать его биографию «очень крупными мазками», то дальше можно сказать,

что в Смоленске он прожил до 1915 г., т. е. до 31 года, а затем болезнь – костный туберкулез, а потом и исторические события – революция – заставили изменить все.

В этой короткой статье я не буду говорить о биографии А.Р. Беляева, адресуя интересующихся к предшествующей статье Д.М. Фельдмана, а желающих узнать больше – к книгам «Беляев» серии «Жизнь замечательных людей»² и к воспоминаниям дочери А.Р. Беляева Светланы Беляевой³. Если времени у вас мало, то можно ограничиться очень теплым, хотя и очень кратким очерком П. Гремлева в спецвыпуске «Советская фантастика» журнала «Мир фантастики» № 7 (2022)⁴ или и того проще – короткой справкой на сайте «Лаборатория фантастики»⁵. Я же попробую рассказать о том, что *сегодня* мы имеем в виду, когда говорим о Беляеве-фантасте.

² Бар-Селла З. Александр Беляев. М.: Молодая гвардия, 2013. 426 с.

³ Беляева С.А. Семейная сага фантаста Беляева [Текст] // С. А. Беляева. М.: Изд. дом ТОНЧУ, 2014. 375 с.; а также: Беляева С.А. Воспоминания об отце. СПб.: Серебряный век, 2009. 92 с.

⁴ Гремлев П. Первый среди первых. Александр Беляев, часть 1. Рождения фантаста; Он же. Рыцарь фантастики. Александр Беляев, часть 2. Путь к свободе // Мир фантастики. Спецвыпуск № 7 (2022) Советская фантастика.

⁵ Александр Беляев. <https://fantlab.ru/autor14> (дата обращения: 04.03.2024)

¹ См. ЗиВ №6, 2023.

ПЕРВЫЙ СРЕДИ ПЕРВЫХ

Традиционно А.Р. Беляева сравнивают с предшественником Жюлем Верном (1828–1905) и старшим современником Гербертом Уэллсом (1866–1946), и не только сравнивают, а прямо называют «советским Жюлем Верном».

То, что можно воспринять как комплимент, сегодня кажется, скорее, несправедливым. Александр Романович Беляев не был советским вариантом ни того ни другого. Он был собой. Человеком очень непростой судьбы: юристом, журналистом, театралом и, как оказалось в итоге, – писателем, «основоположником научной фантастики»⁶.

Последнее определение кажется таким простым, что «через него» хочется перескочить, чтобы заговорить собственно о писателе. Но я предпочту именно здесь задержаться.

Итак, Александр Романович Беляев жил и писал фантастические произведения, в которых была важна именно наука (и как тема, и как «предметная область», и как некая сверхидея), и делал это именно в то время, когда фантастика и в особенности та ее область, которую принято называть «научной фантастикой», возникала и оформлялась. Это конец XIX – начало XX в.

Есть много причин, по которым именно этот период для фантастики в целом, и для научной (если быть точнее – рациональной) фантастики в частности, стал временем бурного развития, который позже привел к рас-

цвету. Наверное, первая из главных – темпы научно-технического прогресса, с которым был связан и рост уровня общей грамотности, и вызванный им подъем массовой литературы. А вторая причина – социально-политические события рубежа веков, влияние которых ощутили на себе миллионы людей.

Вехой и началом «новой эры» в развитии фантастики XX в. принято считать 1926 г., когда в США появился журнал *Amazing Stories*. Его создателем и редактором был Хьюго Гернсбек – человек, провозгласивший, что научная фантастика должна зиждиться на трех китах: повествовании, научной информации и предсказании, причем «наука» должна главенствовать и научные сведения должны быть точными⁷.

Довольно скоро за ним появились новые подобные журналы – в частности, в 1930 г. конкурентом детища Гернсбека стал *Astounding* Уильяма Клейтона, в котором потом печатались те, кого сегодня называют «мэтрами НФ» – Айзек Азимов, Клиффорд Саймак, Робер Хайнлайн и другие. За *Astounding* последовали и другие издания, но это уже было после войны, и, как говорится, «совсем другая история». Заметим только, что и сама идея «строго научной» фантастики менялась, но это тема для отдельной большой статьи.

А что же в России, а потом в Советском Союзе? Как ни странно, но если смотреть на ситуацию укрупненно, то происходило все то же самое, с поправками на историческую и политическую специфику. Приключенческая литература, в том числе фантастическая,

⁶ Эта формула, как и выражение «советский Жюль Верн» встречаются очень часто, но сложно понять, кто впервые использовал ее. Автор настоящей статьи не берется утверждать, что знает источник. Возможно, он здесь: Бунатян Г. Основоположник советской научной фантастики / Бунатян Г. Город муз. Л.: Лениздат, 1975. С. 345–354. <https://fantlab.ru/article497> (дата обращения: 14.02.2024).

⁷ См. ст.: Gernsback Hugo, https://sf-encyclopedia.com/entry/gernsback_hugo (дата обращения: 04.03.2024). Часто Гернсбеку приписывают появление самого термина «научная фантастика», но это не так – о «научной фантастике» говорили еще в XIX в. и на разных языках, в том числе на русском.

и в том числе «научно-фантастическая», развивалась так же активно и так же «рука об руку» с научно-популярной и просветительской литературой. Произведения печатались в существующих журналах, в том числе научно-популярных, но появлялись и новые журналы. Кроме произведений российских авторов публиковались многочисленные переводы: того же Ж. Верна, Г. Уэллса, А. Конан Дойла и других зарубежных писателей.

То, что развитие научной фантастики шло более или менее равномерно что в СССР, что за рубежом, вряд ли может удивлять⁸. Такая литература, по глубокому убеждению автора данной статьи, – производная научно-технической революции и индустриализации, а темпы последней в Советском Союзе были ошеломляющими.

Тот факт, что мы сегодня не помним большинства российских писателей и произведений, работавших в этой области, не доказывает, что это была совсем плохая или насквозь вторичная литература. В конце концов, кто вспомнит, что писали «реалисты» в большинстве литературных журналов того времени? Таков нормальный литературный процесс – идет выработка языка, образной системы, сюжетных схем, освоение новой тематики. Все это потом укладывается в учебники по истории и теории литературы, но и в них часто перечисляются только «вершины».

И вот – внимание – в 1925 г., то есть за год до *Amazing Stories* Гернсбека, в Москве в издательстве «Гудок»

(с 1926 г. – в издательстве «Земля и фабрика») начал выходить журнал «Всемирный следопыт» с подзаголовком «Путешествия, приключения, фантастика». В №№ 3–4 того же года именно здесь был опубликован рассказ (еще не роман) «Голова профессора Доуэля» А.Р. Беляева⁹.

Немного позже, в 1927 г. началось издание журнала «Вокруг света», который продолжил историю одноименного журнала, выходившего до революции. В том же году в № 2 А.Р. Беляев опубликовал здесь рассказ «Над черной бездной» из цикла о профессоре Вагнере.

Если быть точным, дело обстояло сложнее – в 1927 г. начали выходить два самостоятельных журнала «Вокруг света»: в Москве (как приложение ко «Всемирному следопыту») и Ленинграде¹⁰. Такой необычной ситуация оставалась до конца 1930 г. А что же А.Р. Беляев? Он сотрудничал с обоими изданиями – и, насколько можно судить, бесконфликтно. В начале 1931 г. два журнала слились в один, который вначале издавался в Ленинграде, а с июня 1938 г. – в Москве. С 1936 г. и до 1938 г. А.Р. Беляев вел в нем отдел научной фантастики. Таким образом, видно, что он «стоял у истоков» не только как автор, но и как организатор процесса.

Сам А.Р. Беляев печатался не только в этих журналах. После переезда в Москву в 1923 г., будучи сотрудником Наркомата почт и телеграфов, А.Р. Беляев писал для журнала «Жизнь и техника связи»¹¹, но статьи, опубликованные здесь, скорее, специально-тема-

⁸ Я не возьмусь сравнивать масштабы явления. Видимо, что в США (но, возможно, не в Европе) научно-фантастических или квазинаучно-приключенческих произведений, равно как и мест, где их можно было опубликовать, было в целом больше. Но по Соединенным Штатам не прокатывались последовательно Первая мировая война, революция и Гражданская война.

⁹ В том же году опубликован в «Рабочей газете», № 134–152.

¹⁰ За подробностями этой замечательной во всех отношениях истории отсылаем читателя к: *Караваев А.* Фантастическое путешествие «Вокруг света»: визуальные очерки. Волгоград: ПринТерра-Дизайн, 2017. 386 с.

¹¹ Название издания менялось в разное время, вначале – «Жизнь связи».

тические. Кроме этого, в библиографии А.Р. Беляева можно увидеть газету «Гудок», журналы «Знание – сила», «Природы и люди», детские журналы «Еж» и «Чиж», журналы «Юный пролетарий», «Огонек», газету «Большевистское слово», журнал «Детская литература»¹²...

В списке его произведений – «производственные» статьи о средствах связи; очерки об ученых; журналистские репортажи, заметки, фельетоны о текущих событиях, с литературой не связанных (Беляев был не только писателем, но и «просто» журналистом); рецензии на книги; публицистика. И – научно-фантастические романы, повести, рассказы и очерки.

Для журнала «Земля и Вселенная» из этого большого и пока не очень хорошо изученного творчества Александра Беляева¹³ интересны в первую очередь те произведения, которые позволяют назвать его основоположником отечественной *космической* научной фантастики, еще до начала самих космических полетов.

КОСМОС АЛЕКСАНДРА БЕЛЯЕВА

Полеты в космос для фантастики – тема очень и очень старая. Можно ли быть ее «основоположником» в первой половине XX в., имея в качестве предшествен-

ников, например, Лукиана Самосатского, не говоря уже о Ж. Верне и К.Э. Циолковском¹⁴? Да и, если посмотреть интегрально, А.Р. Беляев писал о космосе не так чтобы много и к этой теме пришел не сразу.

Из его важнейших романов: «Человек-амфибия», «Голова профессора Доуэля», «Ариэль», «Прыжок в ничто»¹⁵ – только последний посвящен космическим полетам. Две «космические» повести «Звезда КЭЦ»¹⁶ и «Небесный гость»¹⁷, к творческим удачам писателя не относят. Кроме того, космосу в той или иной мере посвящены несколько небольших произведений, и в первую очередь очерки о К.Э. Циолковском: «Гражданин Эфирного Острова»¹⁸, «К.Э. Циолковский»¹⁹, «Памяти великого ученого-изобретателя»²⁰ и другие.

Вообще, к теме космоса А.Р. Беляев пришел под влиянием К.Э. Циолковского, которым искренне восхищался и труды которого популяризовал для «широкой публики». А.Р. Беляев описывал все многообразие идей ученого – и полеты на дирижаблях, и ракеты для путешествий «в эфире», и заселение межпланетного пространства, и вообще «покорение Вселенной» в смысле рационального использования ресурсов космоса и Земли как планеты для устройства жизни человека.

Видимо, идеи К.Э. Циолковского во многом отвечали каким-то глубоким

¹² Прижизненная библиография А.Р. Беляева собрана в Бар-Селла З. Александр Беляев. М.: Молодая гвардия, 2013. 428 с. Также список произведений А.Р. Беляева с указанием места первой публикации можно найти на странице, посвященной писателю, сайта «Лаборатория фантастики» <https://fantlab.ru/autor14> (дата обращения: 15.02.2024).

¹³ В этой статье выпущен из внимания очень большой период творчества А.Р. Беляева до 1925 г., связанный со Смоленском и позже Ростовом-на-Дону. Но тогда он писал в основном об искусстве; подробней см. ст. Д.М. Фельдмана, а также, например, сборник: Неизвестный Александр Беляев – «Млечный путь», 2012.

¹⁴ Первое издание повести К.Э. Циолковского «На Луне» относится в 1893 г.

¹⁵ Впервые вышла книгой в 1933 г. в издательстве «Молодая гвардия». Послесловие проф. Н.А. Рынина.

¹⁶ Первоначально в журнале «Вокруг света», 1936 г., №№ 2–11.

¹⁷ Опубликована в: Ленинские искры, 1937, №№ 116–119, 1938, №№ 1–61.

¹⁸ Всемирный следопыт, № 10–11, 1930.

¹⁹ Полярная правда, 1932, № 233.

²⁰ Юный пролетарий, 1935, № 23.

чувствам писателя. Может быть, сыграло роль и то, что ученый писал о жизни без тяжести, а привычное нам земное тяготение А.Р. Беляеву из-за болезни, приковывавшей его к постели или сильно ограничивающей движение, выносить было особенно тяжело.

А.Р. Беляев и К.Э. Циолковский были знакомы, но познакомились поздно и только заочно. «После публикации первых глав «Воздушного корабля»²¹ К.Э. Циолковский направил в редакцию «Вокруг света» письмо. Между Беляевым и Циолковским завязалась переписка. Писатель выслал Циолковскому «посвященный межпланетным скитаниям» роман «Прыжок в ничто», который также получил весьма благоприятную оценку ученого. А в 1935 г. К.Э. Циолковский умер, и в память о нем А.Р. Беляев переименовал новую повесть «Вторая Луна» в «Звезду КЭЦ». К.Э.Ц. – сокращение от «Константин Эдуардович Циолковский»²².

А вот первый космический роман «Прыжок в ничто» был написан до знакомства с основоположником практической космонавтики. Послесловие к нему изначально написал профессор Н.А. Рынин, сам писатель-популяризатор и один из организаторов и активистов Ленинградской ГИРД.

Роман при этом не очень понравился другому известному популяризатору – Я.И. Перельману, которой упрекнул А.Р. Беляева в погрешностях против научной истины.

²¹ Роман А.Р. Беляева, основанный также на идеях Циолковского о воздухоплавании с помощью цельнометаллических дирижаблей. Он публиковался с ноября 1934 г. до середины 1936 г. в журнале «Вокруг света». В основу научно-технической составляющей романа положен проект дирижабля К.Э. Циолковского. Кстати, сам Циолковский тоже публиковался в «Вокруг света».

²² Караваяев А. Фантастическое путешествие «Вокруг света»: визуальные очерки. С. 110.

А вот сам К.Э. Циолковский, после знакомства с первым изданием, роман в целом одобрил, хотя и прислал А.Р. Беляеву некоторое количество замечаний ко второму изданию, вышедшему в 1935 г. Научным редактором его значился тот же Я.И. Перельман, но короткое вступление написал ему К.Э.Ц., а роман получил посвящение: «*Константину Эдуардовичу Циолковскому в знак глубокого уважения. Автор*».

При внимательном чтении «Прыжка в ничто» хорошо заметно, что роман как бы составлен из двух фантастических «половинок». И самое примечательное, что А.Р. Беляев более или менее успешно не только соединяет, но и «сплавляет» эти половинки так, что разделить их, без ущерба для целого, пожалуй, нельзя.

Первая «половинка» – научно-техническая, которая описывает фантастический межпланетный перелет. В центре этого «сюжета» – победа над земным тяготением и в конечном счете над пространством вообще. Если суммировать, то один из центральных персонажей инженер Цандер строит ракету, которая способна двигаться почти со скоростью света и, соответственно, может улететь очень далеко за пределы Солнечной системы.

Но – внимание – «...Цандер все же не решался улетать слишком далеко от Солнца – источника жизни и тепла для людей и оранжерей: на расстоянии десяти миллиардов километров – за орбитой Плутона – Солнце стало всего лишь яркой звездой». Кроме техники А.Р. Беляев пишет о людях.

Вторая фантастическая «половинка» – то, что сегодня мы называем «мягкой» или социальной фантастикой: автор описывает изменения взаимоотношений людей в новых (фантастических) условиях. Группа людей, занимающих разные ступеньки социальной лестницы, отправляются в кос-

мический полет на ракете-«ковчеге». Они планируют пробыть в космосе неопределенно долго, чтобы дожидаться, когда на Земле закончится период войн и революций. У каждого из них, в общем, свои планы и желания, но действительность вносит свои коррективы: вместо полета в межпланетном пространстве им приходится высаживаться на Венере. После различных приключений на планете часть персонажей возвращается на Землю, вторая часть остается на Венере. Разделение происходит не безболезненно – в группе вспыхивает вражда, причина которой опять же имеет социальное происхождение. Вдаваться в подробности не будем – кто читал роман, тот их знает, а кто не читал, пусть лучше прочитает в оригинале.

Мы же заметим, что социальная фантастика в «Прыжке в ничто» немислима без научно-технической.

Важнейшие места, где происходит действие: полигон для подготовки межпланетного полета, ракета в космосе и сам космос как новая, непривычная и неестественная среда обитания и, наконец, другая планета.

Если на полигоне – фактически, на Земле – роли между персонажами распределены более или менее понятным образом, то уже в ракете первое место принадлежит не тем, кто стоит выше на социальной лестнице, а тем, кто понимает, как ракета работает. При этом «переворот» социальной лестницы реализуется с помощью физического переворота в пространстве: в состоянии невесомости верх и низ перестают иметь значение, персонажи оказываются беспомощными и вынуждены осваивать новые методы передвижения. Во время выхода в космическое пространство персонажи смотрят на Землю не просто со стороны, но и с большого расстояния, заново осмысливают, что такое движение и расстояние, что такое вообще мир.



Иллюстрация к роману «Прыжок в ничто», художник П. Луганский

«Летят они или стоят на месте? И если летят, то куда? Вверх? Вниз? Здесь не было ни верха, ни низа. Ракета оставалась под ногами – значит, они летят “вверх”. Но сияющий шар Земли плыл в мировом пространстве над головой. Значит, они летят на Землю, то есть падают “вниз”. А в отношении звезд? От миллионов далеких звезд они удалялись, к миллионам – приближались под всевозможнейшими углами. Если же зажмуриться, то кажется, что вообще нет никакого движения.

<...>

Это был мир вечного молчания, полной, абсолютной тишины и холода. Здесь беззвучен громовой грохот всех ракетных дюз. Здесь нет ни ветров, ни облаков, ни дождей, ни туманов, ни перемен температуры, нет “погоды”, нет смены дня и ночи, времен года...»

Наконец, следующие за «космическими главами» приключения на Венере – это попытка начать жизнь заново, построив новое общество, а финал романа оставляет поле для интерпретаций. Достойные улетают в новый рай – на обновленную Землю, а недостойные остаются в аду (или чистилище) Венеры.

«Выкинуть» из этой конструкции можно, пожалуй, Венеру, заменив ее, скажем, на девственные джунгли Земли, но не космос, так как только космос дает нам возможность естественным образом изобразить жизнь без тяжести и Землю со стороны.

Если вспомнить два других, более ранних произведения со схожей сюжетной схемой: «Аэлиту» А.Н. Толстого (1922 г.) и «Красную звезду» А.А. Богданова (Малиновского) (1908 г.), – то можно заметить, что в этих двух повестях космическое пространство и другая планета, при всей красочности описаний, выполняют все же роль экзотического антуража. Конечно, герои претерпевают метаморфозы, но мы бы сказали, что и А.Н. Толстой, и А.А. Богданов более сосредоточены на внутренних переживаниях персонажей и изображении социального устройства общества и в меньшей степени на, так сказать, объективном действии космоса.

А.Р. Беляева же равно интересовали и социум в условиях мысленного эксперимента, и сама по себе новая внеземная среда обитания. Она могла быть враждебной и негостеприимной, но не была абсолютно чуждой. И в этом он вполне следовал К.Э. Циолковскому, которого космос привлекал как будущее поприще для новых свершений человечества.

Следующая космическая повесть – «Звезда КЭЦ». Сюжет ее описывать не будем, но уточним, что действие в ос-

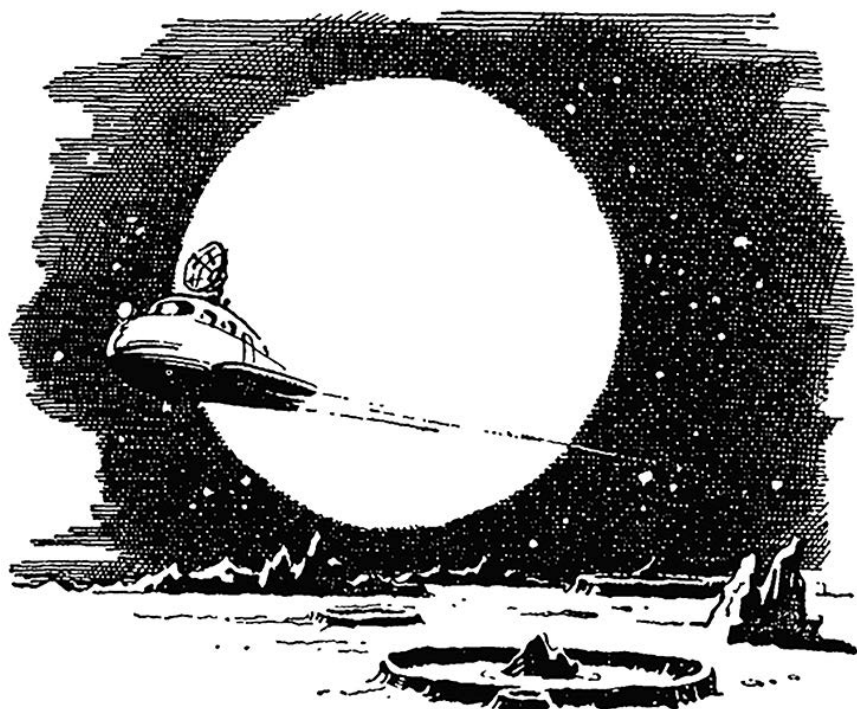
новном разворачивается на орбитальной станции «Звезда КЭЦ».

Наверное, мало кого сегодня впечатлит эта повесть. Слишком условен сюжет, «беззуб» конфликт и развязка оставляет некоторое недоумение. Но если смотреть на нее из перспективы XXI в., то можно только удивиться – ведь ею А.Р. Беляев, фактически, предвосхитил ту научную фантастику, наступающий расцвет которой наступит после войны.

В такой фантастике очень часто главным героем становится ученый, а двигателем конфликта – необходимость решить научную или научно-этическую задачу. Параллельно с этим читатель может обдумывать значение и следствия определенного научного достижения или эксперимента, иногда мысленного, иногда реального. В такого рода сюжетах важен не столько психологизм (хотя «картонные персонажи» не нравятся никому), сколько внутренняя непротиворечивость, а в общем – полет фантазии, не только в описаниях, но скорее в экстраполяциях и предположениях.

И вот с полетом фантазии у Беляева было как раз все в порядке. Еще до начала «регулярных» космических рейсов на околоземную орбиту он более или менее прописал их научную программу, не забыл про объективные сложности, которые могут возникнуть в новой для человека среде обитания, а также поставил задачи для дальнейшего развития. И при этом не забыл про людей. Пусть персонажи ведут себя немного странно, но, в конце концов, если речь идет о будущем, то откуда мы можем знать, как будут себя вести наши отдаленные потомки. Главное – они будут хорошими людьми и их будет интересовать наука, научный поиск как самостоятельная ценность.

Но вообще эта задача, которую попытался решить писатель Беляев



Полет на Луну в романе "Звезда КЭЦ". Иллюстрация Ст. Забалуева

(и многие другие) простому решению не поддается: какой конфликт может быть в таком произведении, который смог бы захватить читателя. Учтем еще, что речь идет о «светлом будущем», где классические конфликты между хорошим и плохим, по идее, уже решены.

Вот возможные варианты решения – простые приключения, то есть решение объективных, не этических проблем, встреча с неведомым и, конечно, размышления о будущем человека и человечества.

И все это в повести есть. Даже если ее завязка выглядит натянутой, а развязка искусственной: главный герой бросает работу, чтобы помочь любимой девушке найти неизвестного человека, потенциального соперника, который, однако, оказывается вовсе не соперником, а коллегой, не доделавшим важный опыт, – то стоит признать, что

в общем и целом это вполне себе «прото-Ефремов», и даже, пожалуй, более «живой».

Наконец, третья небольшая и, по сегодняшним оценкам, уж совсем не удачная повесть «Небесный гость» посвящена уже не просто космическим или межпланетным, а межзвездным перелетам, причем произведенным с использованием, так сказать, самих космических тел. Рядом с Солнечной системой пролетает система из двух звезд с тремя планетами. Пролетает она так близко, что «отрывает» часть океана от Земли. Эта часть, собравшись в маленькую «ледяную планетку», отправляется вслед за двойной системой и падает на одну из ее планет. На этой же ледяной планетке отправляются в межзвездный путь трое героев повести. Их ведет исключительно жажда новых знаний – перед полетом все



Иллюстрация к повести «Небесный гость»,
художник В. Качальский

трое уверены, что обратно им не вернуться (возвращение, правда, все же состоится).

Когда читаешь эту повесть сегодня, вспоминаешь повести китайского автора Лю Цысиня «Блуждающая Земля» и трилогию «Воспоминания о прошлом Земли» – тот же глобально-планетарный масштаб и легкость в обращении с космическими телами. Конечно, это только самые первые и поверхностные ассоциации. В литературном же отношении повесть действительно неудачна – персонажи не очень убедительны, некоторые линии «провисают», да и столь глобальные масштабы явлений требуют, как кажется, несколько более основательного описания. Но все же это был еще один шаг по дороге к современной «космической фантастике».

«ТЕОРЕТИК» ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ФАНТАСТИКИ

В библиографии А.Р. Беляева можно найти около десятка статей о задачах и особенностях фантастики, которые начали появляться в конце 1920-х гг. С некоторыми оговорками их можно назвать «манифестами», а в более нейтральных выражениях – изложением воззрений писателя на фантастическую литературу.

Сложно сказать, насколько сам А.Р. Беляев хотел писать именно манифесты, но высказаться было необходимо. В начале 1930-х гг. фантастика в Советском Союзе оказалась в сложном положении. Частично об этом можно прочитать в статье Д.М. Фельдмана, но в общем про сложное положение научной фантастики в СССР, которая не должна была чрезмерно фантазировать, пишут многие²³.

Ключевым событием в этом процессе принято называть первый всесоюзный съезд советских писателей 1934 г., на котором фантастику отнесли по преимуществу к детской литературе, а ее главной функцией стало распространение научных знаний, причем в достаточно утилитарной форме.

А.Р. Беляев не был согласен с настолько узким пониманием термина, и свою точку зрения выражал – в статьях и рецензиях на книги.

И сейчас мне бы хотелось не столько подчеркивать историческое уже противостояние, сколько процитировать то, что писал сам Александр Беляев, когда говорил о фантастике. Я предпочитаю думать, что даже в злобо-

²³ За описанием этого противостояния я отсылаю читателей к: *Первушин А.И.* 12 мифов о советской фантастике. СПб.: Группа компаний «АУРАИНФО & ГРУППА МИД», 2019. 384 с., хотя точка зрения автора не полностью совпадает с общепринятой.

дневных статьях он не только реагировал на текущее, но и формулировал свое «кредо» в литературе. Собственно, цитировать ниже я буду только одну его статью, которую можно назвать программной, – «Создадим советскую научную фантастику», опубликованную в 1938 г.²⁴ Однако все желающие могут познакомиться и с другими его статьями, которые – что не может не радовать – вполне доступны во всемирной сети.

Начать можно с того, что А.Р. Беляев был приверженцем именно «твердой научной фантастики», то есть фантастики рациональной и в значительной мере базирующейся на научных представлениях о возможном или невозможном (сравним с пониманием фантастики Хьюго Гернсбека). Отчасти этого требовали внешние обстоятельства, но вряд ли бы А.Р. Беляев состоялся как писатель, если бы не имел к этому внутренней склонности.

Но – и это повторяется из статьи к статье – наука в художественном произведении должна выполнять «художественные» функции. «Научно-фантастический роман, рассказ должны быть полноправными художественными произведениями».

Конечная цель – «привлечение максимального внимания и интереса читателей к важным научным и техническим проблемам».

Тут, казалось бы, можно было бы обвинить А.Р. Беляева в том, что он повторяет тезисы тех, кто считает фантастику только инструментом научной популяризации и пропаганды, но все-таки пишет и думает он не так просто.

²⁴ Есть две статьи А.Р. Беляева с одним названием «Создадим советскую научную фантастику». Первая, короткая, напечатана в газете «Литературный Ленинград» 14 августа 1934 г., вторая, более длинная, – в журнале «Детская литература», №№ 15–16, 1938.

«Нельзя <...> использовать в качестве источников научно-фантастических романов только журнальную и брошюрочную научно-популярную литературу. Надо обратиться к истокам самой науки. Завязать живую, деловую связь с учеными. Следить за их научной работой, в особенности над разрешением ими новых проблем. Советская наука и техника – неисчерпаемый источник тем для научно-фантастических произведений. На этом пути писатель может явиться не только популяризатором новейших научных знаний, но и провозвестником дальнейшего прогресса, следопытом научного будущего».

И это уже действительно ближе к манифесту «научной фантастики», где «наука» не вырождается в антураж или «научно-техническую магию», а начинает вести писателя по пути «приключений идеи».

Насколько сам А.Р. Беляев шел именно по этому пути – вопрос спорный. Его последний роман, «Ариэль», сложно назвать в полном смысле слово научно-фантастическим. Хотя он бесспорно рационально-фантастический, несмотря на романтичность образа человека, умеющего летать.

Все же в основе самых известных его произведений лежит, как принято говорить, «фантастическое допущение», но сюжеты и характеры соответствуют авантурной и реалистической литературе. Фантастическое допущение интересует автора, пожалуй, в первую очередь потому, что позволяет создать «стандартную нестандартную» ситуацию, в которой проявляется что-то новое – в поведении ли людей или в осмыслении того, что казалось естественным. И это тоже одна из главных тем будущей фантастики – осмысление того, что делает человека человеком в нечеловеческих условиях.

Об этом он также пишет:

«И советский писатель, задавшись целью ознакомить читателя с каким-нибудь техническим новшеством, должен в первую очередь учесть, по возможности, какие изменения к тому времени произойдут в хозяйстве всей страны, в быте, в семейных отношениях и т. п. <...> А над этой трудностью – изображения социального будущего – стоит еще большая – показ человека будущего».

Далее А.Р. Беляев перечисляет те же сложности: как строить сюжет, на чем основывать конфликт, если старые схемы не применимы; как описывать человека, если он не будет похож на человека сегодняшнего дня; и так далее. Собственно, универсальные «ключи» к ним не найдены, и каждый автор ищет их эмпирически.

Свои решения находил и А.Р. Беляев. И если его романы захватывают нас даже сегодня, то эти решения были хороши.

Произведения Александра Беляева – мостик между литературой XIX в. и вообще литературой, где экскурсы в фантастику были окказиональными и, скорее, обусловленными поэтически, и той новой научной фантастикой, в которой фантазирование на более или менее научно-рациональной основе определяет и сюжет, и тему, и проблематику и даже собственно поэтические средства.

Строить этот мостик было сложно, но на другом берегу уже вольно себя почувствовали те, кто по нему пошел следом.

Это, наверное, все, что я бы хотела сказать об Александре Романовиче Беляеве, замечательном писателе-фантасте. Его биография еще полна пропусков, часть которых вряд ли удастся заполнить. Точно мы знаем, что его жизнь была не очень-то счастливой, если говорить с точки зрения простого благосостояния, но, может быть, все же довольно радостной. А его книги читают и сегодня, читают с интересом и увлечением. Я говорила только о космической фантастике; его наследие гораздо более обширно и, что интересно, не особенно устарело, ни в сюжетах, ни в стиле.

...Если верить свидетельствам, которые приводит Бар-Селла в своей книге, примерно в середине 1910-х гг., но до болезни, А.Р. Беляев переживал то, что называют «кризисом среднего возраста». К тому времени он уже добился довольно многого: был адвокатом, журналистом, общественным деятелем, – но, кажется, не считал ничего из этого ни серьезным, ни основательным, ни главным. Как оказалось, главное у него действительно было впереди: не всегда счастливое, но, как мы видим сегодня, грандиозное.

Впереди была настоящая фантастика.

Произведения Александра Беляева собраны на странице Библиотеки Максима Мошкова http://az.lib.ru/b/beljaew_a_r/ Насколько я могу судить, это максимальное полное собрание сочинений, включающее и статьи, написанные до болезни 1915 г., в том числе с иллюстрациями.

EARTH & UNIVERSE

1 (355), 2024

January–February

TABLE OF CONTENT:

Lev M. ZELENYI Editorial	3
Tamara V. GUDKOVA Tidal Interactions in the Solar System	6
Andrey A. PETRUKHIN Interplanetary Spacecraft Study Giant Planets	25
Anna F. GOVOROVA Mars Shows Signs Of Life	36
Elena S. BELENKAYA, Igor I. ALEXEEV, Vladimir V. KALEGAEV Exoplanets In the Galaxy	49
Elena A. KARPOVICH, Timur Sh. KOMBAEV, Evgeny B. FORSHTER Winged Explorer For the Red Planet?	56

In Brief

Young Ocean Discovered On Mimas	70
ALMA Found a Lot Of Water In the Protoplanetary Disc	71

Literary Space

Dmitry Yu. FELDMAN The Contemporary Of the Future	73
Olga V. ZAKUTNYAYA Alexander Belyaev, a Soviet SF-Writer	98

Cover image: Sand dunes often accumulate in the floors of craters. In this region of Lyot Crater NASA's Mars Reconnaissance Orbiter (MRO) shows a field of classic barchan dunes. Image credit: NASA/JPL-Caltech/Univ. of Arizona

Индекс 38808

Земля и Вселенная, 1/2024

Заведующая редакцией А.Ю. Обод

Редакторы С.А. Герасютин, Д.А. Кононов, О.С. Сажина

Корректор С.О. Розанова

Верстка макета Н.В. Мелковой

Просим обращаться

по вопросам публикации материалов:

+7(495) 276-77-35 (доб. 42-31), e-mail: zevs@naukapublishers.ru

по вопросам сотрудничества:

+7(495) 276-77-35 (доб. 43-01 или 43-02),

e-mail: journals@naukapublishers.ru

Журнал зарегистрирован Государственным комитетом

Совета министров СССР по печати 28 июня 1991 г.

Свидетельство о регистрации № 2119

www.naukabooks.ru/zhurnali/katalog/zemlja-i-vselennaja/

Все права защищены.

Перепечатка материалов возможна только с разрешения редакции.

Мнение редакции может не совпадать с мнением автора.

Все иллюстрации в статьях предоставлены авторами.

*Ответственность за точность и содержание рекламных
материалов несут рекламодатели*

12+

Сдано в набор 19.02.2024 Подписано к печати 13.05.2024

Дата выхода в свет 27.05.2024 Формат 70 × 100¹/₁₆

Цифровая печать Усл.печ.л. 9,1 Уч.-изд.л. 9,1 Бум.л. 3.5

Тираж 131 экз. Заказ № 34 Цена свободная

Учредители: РАН, ФГБУ «Издательство «Наука»

Редакция и издатель: ФГБУ «Издательство «Наука»

Адрес: 121099, Москва, Шубинский пер., д. 6, стр. 1

Отпечатано в типографии ФГБУ «Издательство «Наука»

Адрес: 121099, Москва, Шубинский пер., д. 6, стр. 1

издательство
НАУКА
— 1727 —

Издательство «Наука» оказывает услуги:

- **СОЗДАНИЕ ОРИГИНАЛ-МАКЕТА**
редактирование
вёрстка
изготовление рисунков
- **ХУДОЖЕСТВЕННОЕ ОФОРМЛЕНИЕ**
- **ВСЁ КОМПЛЕКС ПОЛИГРАФИЧЕСКИХ УСЛУГ**
- **РАСПРОСТРАНЕНИЕ В МАГАЗИНАХ
«АКАДЕМКНИГА»**

Высокопрофессиональные специалисты «Науки»
готовы к сотрудничеству

naukapublishers.ru

Тел.: +7 (495) 276-7735

Реклама

издательство
НАУКА
— 1727 —

Типография ФГБУ «Издательство «Наука»
www.tnauka.ru

- переплетные работы
- тиснение фольгой
- цифровая печать
- офсетная печать
- ламинирование
- цветоделение
- сканирование
- брошюровка
- лакирование
- цветопроба
- нумерация
- высечка
- верстка
- СТР

- ▶ Разумная ценовая политика
- ▶ Высокое качество продукции
- ▶ Реальные сроки выполнения заказов
- ▶ Работа высококлассных профессионалов



Удобное месторасположение
Тиражи от 20 экземпляров

- афиши
- календари
- удостоверения
- адресные папки
- визитные карточки
- фирменные бланки
- брошюры, журналы
- эксклюзивные издания
- полноцветные плакаты
- художественные альбомы
- книги в твердом переплете
- листовки, рекламные буклеты
- наклейки на бумажных материалах

Москва



НАУКА
— 1727 —

ПОКУПАЙТЕ ДЕШЕВЛЕ
В ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИНЕ



КНИГИ



ЖУРНАЛЫ



е альманахи - «Академкнига». Официальный интернет-магазин и сайт сети магазинов

ЖУРНАЛОВ О СЕТИ «АКАДЕМКНИГА» ИЗДАТЕЛЬСТВО

анахи

е альманахи

ы выпуски альманахов «Природа», «Океанология» и
ы. Выбранные для дайджестов статьи рассчитаны на самую
аудиторию.

Подписка на журналы

Электронная библиотека
журналов

Интерактивные
альманахи

О магазине

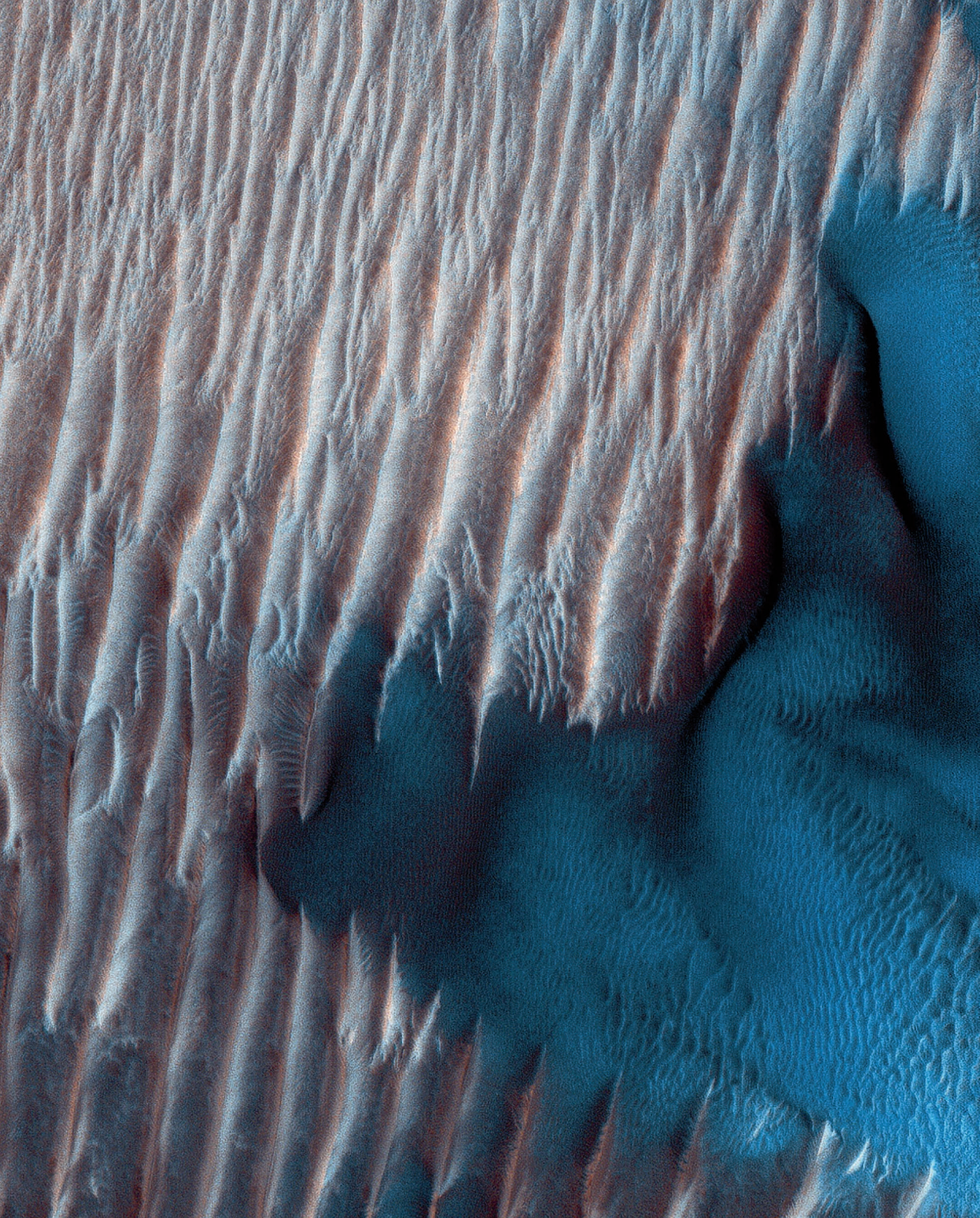
- Доставка и оплата
- Контакты
- Адреса магазинов сети
- Электронные версии
- Регистрация

К
ЧЕСКИЙ

альманах
ОКЕАНОЛОГИЯ

альманах
ПРИРОДА

www.naukabooks.ru



ИЗДАТЕЛЬСТВО "НАУКА"
121099, г. Москва, Шубинский пер., д. 6, стр. 1
тел.: +7 (495) 276-77-35
info@naukapublishers.ru
naukapublishers.ru

ISSN 0044-3948



9 770044 394007